

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. K. Bachmann

**Auswirkungen
verschiedener Trainingsarten
auf die
Herz- und Kreislaufdynamik
bei Hochleistungssportlern**

**Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
dem Fachbereich Medizin
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg**

vorgelegt von
Wolfgang Huhn
aus Waldberg/Röhn

1975 # 3 60

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen - Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. K. Bachmann

**Auswirkungen
verschiedener Trainingsarten
auf die
Herz- und Kreislaufdynamik
bei Hochleistungssportlern**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
dem Fachbereich Medizin
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Wolfgang Huhn
aus Waldberg/Röhn

Gedruckt mit Erlaubnis des Fachbereichs Medizin
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. E. Rügheimer
Referent: Priv.-Doz. Dr. E. Lang
Korreferent: Prof. Dr. K. Bachmann
Tag der mündlichen Prüfung: 20. Oktober 1975

Meinen lieben Eltern in

Dankbarkeit gewidmet.

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
A. EINLEITUNG	1
B. METHODIK	3
1. Untersuchungsprogramm	3
2. Untersuchte	4
3. Untersuchungsbedingungen	9
4. Untersuchungsgeräte	10
5. Untersuchungsgang	11
5.1 Herzvolumenbestimmung	12
5.2 Physikalische Herz- und Kreislaufanalyse	12
6. Auswertung	16
6.1 Hilfsmittel zur Pulskurvenauswertung . .	16
6.2 Definition und Bestimmung einzelner Kreislaufgrößen	19
7. Berechnungsverfahren	22
7.1 Ergebnisse aus der Berechnung primärer Meßwerte	22
7.2 Statistik	26
8. Kritik der Methodik	27
8.1 Kritik der Herzvolumenbestimmung	27
8.2 Kritik der physikalischen Kreislauf- untersuchung	28
C. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	32
1. Herzgröße bei verschiedenem Trainingsgrad	32
1.1 Definition des "Sportherzens"	32
1.2 Absolutes Herzvolumen	34
1.3 Relatives Herzvolumen	37
2. Arbeitsweise des Sportherzens bei verschiedenen Gruppen	38
2.1 Herzfrequenz	38
2.2 Schlag- und Minutenvolumen	39
2.3 Herzarbeit und Herzleistung	42

3. Peripherer Kreislauf bei verschieden- artig Trainierten	43
3.1 Blutdruck	43
3.2 Peripherer Gefäßwiderstand	45
3.3 Pulswellengeschwindigkeit	46
D. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	47
1. Herzdynamik	47
1.1 Morphologische Veränderungen beim Sportherzen	47
1.1a Absolutes Herzvolumen	48
1.1b Relatives Herzvolumen	49
1.2 Funktionelle Veränderungen beim Sport- herzen verschiedenartig Trainierter	52
1.2a Herzfrequenz	54
1.2b Schlagvolumen und Minutenvolumen	55
1.2c Herzarbeit und Herzleistung	59
2. Kreislaufdynamik	62
2.1 Peripherer Gefäßwiderstand	62
2.2 Blutdruck	64
2.3 Pulswellengeschwindigkeit	67
E. ZUSAMMENFASSUNG	70
F. ANHANG	73
1. Tabellen 1 bis 13	74
2. Abbildungen 1 bis 11	88
3. Beiblätter 1 bis 2	100
G. LITERATUR - VERZEICHNIS	103

A. EINLEITUNG

Die ungewöhnlichen Ansprüche, die der moderne Wettkampfsport an den Organismus stellt, und die dadurch ständig zunehmenden Trainingsbelastungen der Sportler verursachen neben vielen anderen Anpassungserscheinungen morphologische und funktionelle Veränderungen am kardio- vaskulären System.

Herz und Kreislauf des Trainierten passen sich vor allem in Abhängigkeit von der Dauer, Häufigkeit und Intensität des sportlichen Trainings an; Art und Ausmaß der Anpassung hängen aber auch von konstitutionellen Faktoren ab.

In der vorliegenden Arbeit sollen anhand verschiedener hämodynamischer Meßgrößen die Auswirkungen unterschiedlicher Trainingsarten auf die Herz- und Kreislauffunktion bei Hochleistungssportlern, die 1972 an den Olympischen Spielen in München teilnahmen, untersucht werden. Es ist zu erwarten, daß der Einfluß einer Sportart und der damit verbundenen Trainingsweise auf das Kreislaufsystem sich am besten beim Vergleich einzelner Sportgruppen untereinander veranschaulichen läßt, wobei Normwerte als Orientierungshilfe dienen, um trainingsbedingte Richtungsänderungen einzelner Herz- und Kreislaufgrößen beurteilen zu können.

Bisher liegen vorwiegend nur isolierte herz-kreislaufdynamische Untersuchungen einzelner Sportarten (z.B. Rudern, Radrennfahren) vor (55, 57, 81, 85, 95, 106, 107, 110, 114).

Umfassende Vergleiche mehrerer, verschiedener Sport- und Trainingsarten und ihrer Auswirkungen auf Herz und Kreislauf untereinander sind dagegen nur selten (z.B. für Boxen, Fußball, Marathonlauf) angestellt worden (60, 85, 86, 104, 107). So finden sich bisher auch nur vereinzelt Angaben darüber, in welchem Ausmaß sich bestimmte Herz- Kreislauffunktionen je nach der ausgeübten Sportart verändern können (57, 85, 86, 102, 110).

B. M E T H O D I K

1. Das Untersuchungsprogramm:

Sportler verschiedener Disziplinen unterzogen sich während der Olympischen Spiele in München der freiwilligen medizinischen Untersuchung, welche nach folgendem Programm ablief:

- Anamnese
- Klinische Untersuchung
- Ruhe - EKG
- Röntgenuntersuchung der Thoraxorgane
- Herz- und Kreislaufdynamik im Versuch
- Röntgenologische Herzvolumenbestimmung
- Ergospirometrie.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich nur mit der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung, vor allem aber mit der Herz- und Kreislaufdynamik unter Ruhebedingungen.

Bei der physikalischen Kreislaufuntersuchung, wie sie hier durchgeführt wurde, werden in Ruhe der arterielle " Druckpuls " (Spygmogramm), der Herzschall und das EKG synchron registriert.

Mit Hilfe dieser Kurvenschreibungen können nach bekannten physikalischen Gesetzen verschiedene Größen der Herz- Kreislaufdynamik bestimmt werden (z.B. die Puls- wellengeschwindigkeit, der periphere Gefäßwiderstand u.a.). Ein wesentliches Ziel der physikalischen Kreislaufanalyse ist jedoch die unblutige, indirekte Bestim-

mung des Schlagvolumens.

Mit Hilfe der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung, die zur Erfassung der trainingsabhängigen Veränderungen des Herzens beim Sportler dient, und der physikalischen Kreislaufgrößenbestimmung sollen in dieser Arbeit die Auswirkungen verschiedenen Trainingsgrades auf die Herz- und Kreislaufdynamik bei Sportlern unter Ruhebedingungen untersucht werden.

2. Die Untersuchten:

Während der Olympischen Spiele in München 1972 wurden insgesamt 113 männliche aktive Sportler der verschiedensten Sportarten (z.B. Marathonläufer, Turner, Schwimmer, Boxer u.a.) und Nationen für die spezielle Fragestellung dieser Arbeit herangezogen.

Die allgemeine und die Leistungsanamnese, sowie die vorausgegangenen klinischen, röntgenologischen und elektrokardiographischen Untersuchungen zeigten bei keinem der untersuchten Sportler einen krankhaften Befund.

Sämtliche Sportler befanden sich in einem guten Gesundheits- und ausgezeichneten Trainingszustand.

Eine besondere Auswahl an Sportlern für die Untersuchungen der Herz- und Kreislaufdynamik wurde nicht getroffen; es sollten nur möglichst viele verschiedene Sportdisziplinen vertreten sein.

Die untersuchten Sportler kamen aus verschiedenen Ländern. Sie lebten, trainierten und bestritten ihre

Wettkämpfe unter unterschiedlichen klimatischen, sozialen und beruflichen Bedingungen.

Die Untersuchten waren im Durchschnitt 24 Jahre alt (siehe Tab. 3) und befanden sich in Erwartung der Olympischen Spiele wohl alle in sportlicher Höchstform. Viele hatten jahre- oder sogar jahrzehntelanges Hochleistungstraining hinter sich; alle waren aber, wie es die Olympischen Statuten verlangen, Amateure, die ihren Sport nebenberuflich ausüben.

Diese Gruppe hochtrainierter Sportler verschiedener olympischer Disziplinen, in der ehemalige Olympiasieger, Weltmeister, Landesmeister und andere erfolgreiche, aber auch weniger bekannte Spitzensportler waren, wurde in verschiedene **L e i s t u n g s g r u p p e n** unterteilt. Die Einteilung wurde dabei unter folgenden Gesichtspunkten vorgenommen:

- Sportler gleicher oder ähnlicher Sportarten wurden zu einer Gruppe zusammengefaßt.
- Sportler in Sportarten, welche in Art, Dauer und Ausmaß des jeweiligen Trainings etwa gleichwertige Anforderungen stellen, wurden ebenfalls zu einer Gruppe zusammengeschlossen.

Einen Überblick über alle Untersuchten, über die vertretenen Sportarten und über die Einteilung in die verschiedenen Gruppen gibt Tabelle 2; in Tabelle 3 sind die körperlichen Daten der verschiedenen Sportgruppen angegeben.

Der Vergleich einzelner Sportler verschiedener Disziplinen untereinander läßt zwar die Auswirkungen der jeweiligen Sport- und Trainingsart auf Herz und Kreislauf in den meisten Fällen erkennen, jedoch besitzen solche

Einzelergebnisse, die vom Trainingsgrad, aber auch der Konstitution des einzelnen Probanden abhängen, nur in beschränktem Maße eine Aussagekraft.

Deshalb wurden in dieser Arbeit Sportler gleicher, aber auch verschiedener Sportarten, jedoch mit gleichem oder ähnlichem Training, zu einer Leistungsgruppe zusammengefaßt.

Als Orientierungshilfe für den Einfluß des Trainings auf Herz und Kreislauf dienten frühere Untersuchungsergebnisse, welche verschiedene Sportarten nach ihrer Wirkung auf die Größenänderung des Herzvolumens zusammenfaßten (57, 85, 88, 104, 107, 110).

Durch die Einteilung mehrerer Sportler gleicher oder verschiedener Sportarten in eine Leistungsgruppe (nach den bereits erwähnten Kriterien) kann man ein abgerundetes, aussagekräftiges Bild über die Beziehungen zwischen der Art des Trainings und ihrem Einfluß auf Herz und Kreislauf erwarten.

Folgende 8 Sportgruppen wurden zusammengestellt:

- A u s d a u e r s p o r t l e r :

Diese Gruppe enthält alle Langstreckenläufer (vom 3 000 m-Hindernis- bis zum Marathonlauf). Die 17 Sportler dieser Gruppe waren durch ihr langjähriges Ausdauertraining, wie aus dem hohen mittleren Alter von 27,7 Jahren zu ersehen ist, sicher die am besten auf Ausdauer Trainierten aller Untersuchten. Erwartungsgemäß hatte diese Gruppe das geringste Körpergewicht und die kleinste Körperlänge.

- M i t t e l s t r e c k l e r :

In dieser Gruppe wurden 4 Läufer der 400 bis 1 500 m- Distanz, sowie ein Vertreter des modernen Fünfkampfes zusammengefaßt. Im Vergleich zu den Ausdauersportlern waren sie deutlich größer (etwa 7 cm) und hatten ein für ihre Körpergröße höheres Gewicht.

- K u r z s t r e c k l e r :

Außer 4 Läufern der 100 m- Distanz wurden auch noch je ein Weit-, Stabhoch- und ein Dreispringer in diese Gruppe einbezogen, da auch ihr Training reine Übung der Schnellkraft erfordert.

- S c h w i m m e r :

Die Gruppe der Schwimmer, die mit 19,4 Jahren das geringste mittlere Alter hat, wird durch 8 Sportler der 100 bis 400 m- Strecke vertreten. Von allen untersuchten Sportlern hatten sie das zweitgrößte mittlere Körpergewicht und waren hinter den Kraft- und Ausdauertrainierten die längsten Probanden. Sie trainierten vor allem nach der Intervallmethode.

- A u s d a u e r - u n d K r a f t t r a i n i e r t e :

Radrennfahrer, Ruderer und Kanadier-Wassersportler bilden diese Gruppe von 17 Sportlern. Sie hatten die kräftigste Körperstatur, die größte Körperlänge und das höchste Gewicht.

- S p o r t l e r t e c h n i s c h e r D i s z i p l i n e n :

In dieser Gruppe wurden Turner, Schützen, aber auch Fechter und ein Kugelstoßer zusammengefaßt. Für diese

13 Sportler spielt, mit Ausnahme der Fechter, das Training des kardiopulmonalen Systems nur eine untergeordnete Rolle. Reaktionsvermögen, Bewegungskoordination und Körperbeherrschung stehen bei ihnen im Vordergrund.

- K r a f t- u n d A u s d a u e r s p o r t l e r :

Neben Judo-Kämpfern und Ringern wird diese Gruppe von 27 Sportlern vor allem durch Boxer verschiedener Gewichtsklassen gebildet. Die Schwankungsbreite der konstitutionellen Größen ist in dieser Gruppe deshalb besonders groß. Gewicht von 55 kg sind ebenso vertreten wie Schwergewichtler, die 193 cm groß und 104 kg schwer sind. Das verhältnismäßig geringe mittlere Körpergewicht von 69,9 kg ist dadurch zu erklären, daß die Vertreter der Leichtgewichtsklassen überwogen. Neben einem speziellen Krafttraining betreiben die Vertreter dieser Gruppe auch in hohem Maße ein Ausdauertraining, um über die " Runden " zu kommen.

- M a n n s c h a f t s s p o r t l e r :

19 Vertreter von Mannschaftsspielen (Fußball, Wasserball, Handball, Feldhockey) sind in dieser Gruppe vereint. Neben der gesamten marokkanischen Fußballelf waren vor allem australische Wasserballspieler unter den Untersuchten dieser Gruppe. Alle diese Sportler befanden sich in bestem Trainingszustand.

Durch den h o h e n Trainingsgrad der Untersuchten ist eine besonders deutliche Abweichung der einzelnen Kreislaufgrößen vom Normalwert zu erwarten. Zweifellos

setzt sich das Untersuchungsgut aus einer Auslese von konstitutionell für bestimmte Sportarten besonders geeigneten Sportlern zusammen. Diese konstitutionellen Eigenschaften werden andererseits aber durch das Ausmaß und die Beschaffenheit des Trainings erheblich verstärkt, wie die Untersuchungsergebnisse zeigen.

Durch die Einteilung in verschiedene Leistungsgruppen und die unterschiedliche Anzahl an Sportlern der verschiedenen Disziplinen und innerhalb der einzelnen Gruppen wurden die Ergebnisse lediglich in ihrer absoluten Aussagekraft beeinträchtigt. Zur Erfassung von Differenzwerten beim Vergleich der einzelnen Gruppen ist jedoch eine kleine Zahl von sehr gut trainierten Sportlern einer großen Anzahl von nur mäßig trainierten Personen vorzuziehen.

3. Untersuchungsbedingungen:

Die herz- kreislaufdynamischen Untersuchungen wurden im Rahmen des gesamten sportmedizinischen Untersuchungsprogramms grundsätzlich vor der Spiroergometrie und nach dem Ruhe-EKG durchgeführt. Dadurch war eine ausgezeichnete Ruhepause von ungefähr 10 bis 15 Minuten für die Untersuchten gewährleistet.

Die Sportler wurden in bequemer, völlig entspannter horizontaler Lage zum Teil vormittags, aber auch nachmittags während der Olympischen Spiele untersucht. Die Untersuchungen fanden größtenteils vor, teils auch nach dem Wettkampf statt. Der Zeitabstand zwischen Sportveranstaltung und Untersuchung war jedoch immer genügend

groß bemessen.

Der Untersuchungsraum war, abgesehen von sommerlichen Temperaturschwankungen, immer gut temperiert (22°C), wodurch Muskelverzitterungen im EKG verhindert wurden. Die Einhaltung von Grundumsatzbedingungen war nicht möglich, doch wurde immer erst einige Stunden nach der letzten Mahlzeit untersucht. Für das Untersuchungsergebnis ist es aber unerheblich, daß keine Grundumsatz-, sondern R u h e w e r t e gewonnen wurden, da bei den Werten für die verschiedenen Gruppen nur absolute Ungenauigkeiten auftreten, bei Vergleichen der ermittelten Herz- Kreislaufgrößen untereinander die Differenzwerte aber nicht mitbetroffen werden.

Da die Untersuchungen zu verschiedenen Tageszeiten durchgeführt werden mußten, unterliegen entsprechend der Tagesrhythmik der Kreislauffunktionen die Werte für Pulsfrequenz, Blutdruck, Schlagvolumen, Herzarbeit und Herzleistung einer Fehlerbreite von ungefähr 5 % (61, 69). Dieser Fehler liegt jedoch unter der methodischen Fehlerbreite der Herz- und Kreislauffunktionsprüfung.

4. Untersuchungsgeräte:

Als Untersuchungsgerät für die physikalische Herz- und Kreislaufuntersuchung wurde der Elektro- und Phonokardiograph " Cardirex 6 T " der Firma Siemens verwendet. Mit diesem Sechsfachschreiber wurden synchron das EKG, der Herzschall, die Pulscurven und teilweise der Blutdruck graphisch registriert.

Bei der E K G - R e g i s t r i e r u n g wurde aus den Standardableitungen nach EINTHOVEN die Ableitung II gewählt, da man hier normalerweise die Q- Zacke besonders deutlich erkennen kann, welche für die Ausmessung der registrierten Pulskurven notwendig ist.

Der H e r z s c h a l l wurde mit Hilfe eines Kristallmikrophons mit Pelotte aufgezeichnet. Für die Registrierung wurde aus den Nennfrequenzen des Herzschallvorverstärkers EMT 21 B die zweite, mittlere Frequenz ($m_2 = 140$ Hz) gewählt.

Die P u l s k u r v e n der Arteria carotis, femoralis und tibialis posterior wurden mit dem Infraton-Pulsabnehmer nach BOUCKE-BRECHT (19) registriert.

Der B l u t d r u c k wurde mit einem Quecksilber-Sphygmomanometer nach der KOROTKOFF'schen Methode gemessen. Daneben wurden die Blutdruckwerte teilweise auch noch graphisch registriert.

5. Untersuchungsgang:

Aussagen über den Einfluß verschiedenartigen Trainings auf Herz und Kreislauf können nur auf Grund bestimmter Meßgrößen getroffen werden.

Die Sportler mußten sich deshalb zwei Untersuchungen unterziehen:

- der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung,
- der physikalischen Kreislaufgrößenbestimmung.

Mit Hilfe dieser beiden Untersuchungsverfahren können

die verschiedenen Größen der Herz- und Kreislaufdynamik bestimmt werden, welche später noch näher erläutert werden.

5. 1 Bestimmung des Herzvolumens:

Die Herzvolumenbestimmung erfolgte röntgenologisch mittels einer Sagittal- und einer Transversalaufnahme. Die Aufnahmen wurden im Liegen durchgeführt, um orthostatische Füllungsschwankungen durch die periphere Kreislaufregulation zu vermeiden (6, 7, 78, 93, 106, 107). Die Exposition erfolgt dabei unabhängig von der Herzaktion bei leichter Inspiration ohne Atemanhalten, um Pressen zu verhindern. Das Herzvolumen (HV) wurde nach der Formel:

$$HV = 0,4 \cdot L \cdot B \cdot T_{\max} \text{ bestimmt.}$$

L = Längsdurchmesser, B = Breitendurchmesser,

$T_{\max}$ = größter Tiefendurchmesser des Herzschat- tens.

5.2 Analyse der Herz- und Kreislaufdynamik:

Die physikalische Kreislaufuntersuchung verfolgt das Ziel, mit Hilfe der synchronen Registrierung von EKG, Herzschall und Pulskurven nach bekannten physikalischen Gesetzen verschiedene Größen der Herz- Kreislauf- funktion zu bestimmen.

Für unsere sphygmographischen Untersuchungen haben wir die Methode nach BROEMSEF und RANKE (18) gewählt.

Diese einfache Methode der indirekten, unblutigen physikalischen Schlagvolumenbestimmung ist apparativ wenig kompliziert und stellt an die untersuchten Personen keine besonderen Anforderungen. Rückwirkungen

auf Atmung und Kreislauf oder andere Nebenwirkungen sind während und nach der Untersuchung nicht zu befürchten. Deswegen ist diese Methode, bei der gleichzeitig eine Reihe wichtiger Größen des peripheren Kreislaufs und die Dauer einzelner Herzphasen ermittelt werden können, beliebig oft zu wiederholen. Gegenüber verschiedenen anderen Methoden hat die physikalische Schlagvolumenbestimmung außerdem den Vorteil, daß sie weniger Zeit für die Untersuchung beansprucht und fortlaufend Messungen durchgeführt werden können.

Somit ist die physikalische Herz- Kreislaufuntersuchung, die sich zur Analyse und differentialdiagnostischen Abklärung von Herz- und Kreislaufkrankheiten in der Klinik länger bewährt hat, auch für den Einsatz in der ambulanten Praxis und die Untersuchung eines großen Kollektivs gut geeignet.

Vor der Schreibung des Sphygmogramms wurde durch eine Eichzacke in allen Kanälen des Mehrfachschreibers geprüft, ob diese synchron laufen. Die Fußpunkte der verschiedenen Eichzacken müssen genau untereinander liegen.

Im Programm des Elektrokardiographen wurde Ableitung II eingestellt, da hier die Q-Zacke, welche für die Ausmessung der Pulskurven von Bedeutung ist, normalerweise gut ausgeprägt ist.

Das kleine Herzscharfmikrophon wurde im dritten Interkostalraum links parasternal direkt auf die Thoraxwand aufgeklebt. Die Anlagestelle muß so gewählt sein, daß sowohl der erste wie auch der zweite Herzton gut zu sehen sind. Der Frequenzfilter wird auf

mittlere Frequenzen (m_2) eingestellt, und die Amplitude so geregelt, daß der Maximalausschlag 2 cm nicht unterschreitet.

Zur P u l s k u r v e n r e g i s t r i e r u n g wurde eine Druckrezeptor wie üblich an der rechten Arteria carotis aufgesetzt und mit einer Spezialmanschette befestigt. Die Anlage des Femoralispulsabnehmers erfolgte mittels Bandagegürtel unterhalb des Leistenbandes über der Arteria femoralis. Da wir die erweiterte sphygmographische Untersuchung durchführten, bei der auch noch die Pulslaufzeit zwischen Leistenbeuge und Fußknöchel bestimmt werden kann, benötigten wir noch einen dritten Abnehmer für die Arteria tibialis posterior.

Die technisch genaue Ableitung der Pulskurven ist Grundvoraussetzung für gut auswertbare Kurven und damit für die Beurteilung der Herz- und Kreislauf-funktion.

Die Registrierung der Pulskurven erfolgte in der sogenannten expiratorischen Mittellage. Der Proband hält dabei am Ende der Expiration bei geöffnetem Mund den Atem an. Dadurch können keine intrathorakalen Drucksteigerungen durch Glottisschluß auftreten. Außerdem ist der Patient am Schlucken gehindert.

Nach Überprüfung der Kurven wurden mindestens 10 aufeinanderfolgende Herzaktionen registriert.

Die Schreibkanäle des Mehrfachschreibers wurden zweckmäßigerweise so belegt, daß im 1. Kanal die Standardableitung II des EKG, im 2. Kanal der extrakardiale Herzschall in einer Frequenzabstimmung von 140 Hz und

im 3. bis 5. Kanal das jeweilige Sphygmogramm der A. carotis, femoralis und tibialis posterior geschrieben wurde. Im 6. Kanal schließlich wurde die Messung der Blutdruckwerte nach dem Manschettenverfahren von RIVA-ROCCI objektiv registriert (siehe Abb. 1). Außerdem wurden sofort nach der Untersuchung am liegenden Probanden der s y s t o l i s c h e und d i a s t o l i s c h e B l u t d r u c k w e r t durch auskultatorische Kontrolle der Geräusche nach KOROTKOFF subjektiv gemessen.

Für die Berechnung der Pulswellengeschwindigkeit muß nach der Pulskurvenschreibung und Blutdruckmessung am noch liegenden Patienten auch noch der Puls-
weg (Länge des ausgewerteten " Windkessels ") ausgemessen werden. Die Höhe des Aortenbogens wird vereinfacht am oberen Rand des Manubrium sterni angenommen. Folgende Strecken sind dann in Nachahmung des Gefäßverlaufes zu notieren:

- A: Entfernung vom Carotisrezeptor bis zum oberen Sternalrand.
- B: Entfernung vom Sternalrand bis zum Nabel.
- C: Entfernung vom Nabel bis zur Abnahmestelle des Femoralispulses in der Leistenbeuge.
- D: Entfernung von Femoralispulsrezeptor bis zur Meßstelle an der Arteria tibialis posterior.

Als Pulsweg (DS), der in die Berechnung der Pulswellengeschwindigkeit eingeht, ergibt sich dann:

$$DS = B + C + D - A.$$

Die Entfernung D wurde allerdings in dieser Arbeit außer Betracht gelassen, da die Berechnung der peripheren Pulswellengeschwindigkeit (Puls-
weg/Pulslaufzeit

zwischen Leistenbeuge und Fußknöchel) voraussichtlich keine neuen Hinweise auf den Trainingseinfluß erbracht hätte. Vereinfacht ergibt sich als $P u l s s t r e c k e$ somit:

$$DS = B + C - A.$$

Schließlich müssen auf dem erhaltenen Kurvenstreifen außer dem Namen Alter, Größe und Gewicht des jeweiligen Probanden für die indirekte Bestimmung des $A o r t e n q u e r s c h n i t t e s$ notiert werden.

6. Auswertung:

Zur Bestimmung der zeitlichen Phasen der Herzkontraktion verwendeten wir die von BLUMBERGER (11) in die Klinik eingeführte Methode zur Auswertung der Kurven. MEINERS (80) und LANG (76, 77) haben dieses hinreichend genaue und bei erträglichem apparativem und rechnerischem Aufwand wohl verbreitetste Verfahren ausführlich beschrieben.

Mit ihm lassen sich die Diastolendauer, die Gesamtsystole, die Austreibungszeit, die Pulslaufzeit und die Umformungszeit aus der synchronen Registrierung von EKG, Herzschall und Sphygmogramm ausmessen. Die Umformungszeit bleibt im weiteren unberücksichtigt, da sie für die physikalische Schlagvolumenbestimmung nicht benötigt wird.

6.1 Hilfsmittel zur Auswertung der Pulskurven:

Für die Auswertung wurde ein Meßprotokoll (siehe Beiglatte 1) angefertigt, in das neben den übrigen persönlichen Daten zunächst Größe, Alter, Blutdruck und

der ausgemessene Pulsweg eingetragen wurden.

Die Berechnung des Schlagvolumens nach BROEMSER-RANKE (18) erfordert die Größe des Aortenquerschnitts. Wir benützten zur Aortenquerschnittsbestimmung die von FRUCHT (39) bereinigte Tabelle SUTER's (129), in der Geschlecht, Alter und Körperlänge berücksichtigt werden (siehe Abb. 2).

Die **A u s m e s s u n g** unserer Kurven erfolgte über eine Hilfsskala, die entlang der 10 fortlaufenden Herzaktionen der Originalkurve angelegt wurde. Die O-Markierung soll dabei einige cm vor den Beginn des auszumessenden Kurvenabschnitts gelegt werden. Auf diese Hilfsskala werden der 1. und 2. Herzton, sowie die Q-Zacke des EKG projiziert. Bei den Herztönen wird jeweils am Beginn der Schwingungsgruppe gemessen.

In Abb. 1 ist die Bestimmung der Zeitwerte der Herzkontraktionsphasen veranschaulicht, welche zur Schlagvolumenberechnung notwendig sind.

In das bereits angefertigte Meßprotokoll (siehe Beiblatt 1) werden die Zahlenwerte, die sich aus dem Abstand vom Nullpunkt bis zum jeweiligen Meßpunkt ergeben, in fortlaufender Reihenfolge für 10 Herzaktionen eingetragen.

In Spalte 1 kommen die Meßwerte vom Nullpunkt bis zum Meßpunkt des 1. Herztones (I), in Spalte 2 diejenigen bis zum Meßpunkt des 2. Herztones (II), in Spalte 3 die Werte bis zum Meßpunkt der Q-Zacke des EKG (Q) und in Spalte 4 wiederum die Zahlenwerte vom Nullpunkt bis zum Meßpunkt des 2. Herztones,

jedoch jeweils der vorangegangenen Herzaktion (-II). Aus diesen direkt ausgemessenen Werten lassen sich die Diastolendauer (D), die Gesamtsystole (A + S) und die Umformungszeit (UZ), die jedoch zur Schlagvolumenbestimmung nicht notwendig ist, folgendermaßen berechnen:

Der Zeitwert für die D i a s t o l e n d a u e r in Spalte 5 ergibt sich aus der Differenz der Meßwerte in Spalte 3 und 4, der Wert für die G e s a m t s y s t o l e in Spalte 6 aus der Differenz der Werte in Spalte 2 und 3, und die U m f o r m u n g s z e i t in Spalte 7 aus der Differenz der gemessenen Werte in Spalte 1 und 3.

In Spalte 8 wird die A u s t r e i b u n g s z e i t (S) eingetragen. Sie wird für jede Herzaktion aus der Strecke zwischen dem Fußpunkt des Steilanstiegs der Karotispulskurve und dem tiefsten Punkt der Inzisur bestimmt (siehe Abb. 1).

Schließlich wird zur Berechnung der zentralen Pulswellengeschwindigkeit für jede Herzaktion die L a u f z e i t der P u l s w e l l e zwischen der Arteria carotis und der Arteria femoralis ausgemessen und in Spalte 9 eingetragen.

Obwohl wir die erweiterte physikalische Kreislaufanalyse durchführten, bei der auch die Pulsdruckkurve der Arteria tibialis posterior registriert wird, wurde die Laufzeit zwischen der Arteria femoralis und Arteria tibialis posterior nicht bestimmt, da wir auf die Berechnung der peripheren Pulswellengeschwindigkeit verzichteten (siehe S. 15 unten).

Die Messung der P u l s l a u f z e i t erfolgt folgendermaßen:

Man mißt von der jeweiligen Carotis- oder Femoralispulskurve die Strecke zwischen Fußpunkt und 1. Gipfel der Kurve und dividiert diese Strecke durch 5. Am steil aufsteigenden Pulskurvenschenkel erhält man an der Stelle, welcher $\frac{1}{5}$ der Amplitude des 1. Pulskurvengipfels entspricht, den Bezugspunkt für die zeitliche Differenz (DT). Dasselbe Verfahren wird auch für die periphere Zeitverspätung angewandt (siehe Abb. 1).

Für alle aus 10 Herzaktionen gemessenen und berechneten Einzelwerte wurde abschließend für jede Spalte das arithmetische Mittel bestimmt. Diese Mittelwerte wurden in den weiteren Berechnungen verwertet.

Da bisher nur die praktische Durchführung der physikalischen Herz- und Kreislaufanalyse dargestellt wurde, sollen nun noch einige theoretische Grundlagen über den zeitlichen Ablauf der Druck- und Volumenarbeit (Herzdynamik) erläutert und die bisher ermittelten Größen näher definiert werden, sofern sie zur Berechnung des Schlagvolumens formelmäßig notwendig sind (siehe Tab. 1).

6.2 Definition und Bestimmung einzelner Kreislaufgrößen:

Die G e s a m t s y s t o l e (A + S), auch elektromechanische Systole genannt, beginnt mit der Q-Zacke des EKG. Damit wird auch ein kleiner Zeitabschnitt erfaßt, der im mechanischen Ablauf der Herzaktion unbedeutend ist, die elektromechanische Latenz.

Bei Messungen von der Q-Zacke ab wird die Systole zweifellos etwas zu lang gemessen. Dieser geringfügigen Meßungenauigkeit, die aber weit unter der methodischen Fehlerbreite der Sphygmographie liegt, steht der Vorteil der exakten Festlegung der Q-Zacke gegenüber.

Die Gesamtsystole setzt sich aus der Anspannungszeit und der Austreibungszeit zusammen (siehe Abb. 3 und 4).

Die A n s p a n n u n g s z e i t (A) wird als 1. Phase der Systole definiert und während der sich das Herz unter Druckerhöhung bei konstantem Blutvolumen (isovolumetrisch) anspannt. Dadurch ändert es zunächst seine Form und erhöht dann den Innendruck. Wenn der diastolische Aorten- bzw. Pulmonaldruck vom Innendruck des Ventrikels überschritten wird, öffnen sich die Semilunarklappen und die 2. Phase der Systole beginnt.

Sie wird A u s t r e i b u n g s z e i t (S) genannt, da das Herz durch Verkürzung der Muskelfasern bei starker Verringerung des Ventrikelvolumens (auxoton) seinen Inhalt austreibt. Die Austreibungszeit endet mit dem Beginn der Ventrikellerschlaffung und dem Schluß der Taschenklappen. In der Aortendruckkurve ist dieser Klappenschluß durch die Inzisur gekennzeichnet. Die Austreibungszeit wird aus der Karotiskurve folglich vom Beginn des Anstiegs bis zur Inzisur gemessen (siehe Abb. 1 und 3).

Die Gesamtsystole (A + S) endet mit dem Beginn des 2. Herztones. Diese Zeitmarke wird von den meisten Autoren benutzt, um die Gesamtsystolendauer zu begrenzen, deren Beginn durch die Q-Zacke festgelegt ist (11, 13, 53, 76, 90).

An die Systole schließt sich die Diastole (D) an, deren Dauer durch den Beginn der Erschlaffungszeit und das Ende der Füllungszeit begrenzt wird.

Während der Erschlaffungszeit sind sämtliche Herzklappen geschlossen, der Ventrikeldruck ist bis zum Ende dieser Zeit auf Null abgesunken. Der Systolendruck in der Aorta dagegen fällt auf Grund der Windkesselfunktion nur langsam bis zum Beginn der nächsten Herzrevolution auf das diastolische Niveau ab (siehe Abb. 3).

Die Füllungszeit dauert vom Öffnen der Segelklappen kurz nach Ende der Erschlaffungszeit bis zum Klappenschluß sofort nach dem Kammersystolenbeginn.

Da nur die vorhergehende Diastole die isovolumetrische und auxotone Phase der folgenden Herzkontraktion beeinflusst, wird die Diastolendauer (D) vom Beginn des vorausgehenden 2. Herztones im Phonokardiogramm (-II) bis zur Q-Zacke der folgenden Herzaktion im EKG gemessen (siehe Abb. 1).

7. Berechnungsverfahren:

Im vorausgegangenen Kapitel wurde bisher nur die Bestimmung derjenigen Größen der Herz- Kreislaufdynamik erläutert, welche direkt durch Ausmessen der registrierten Kurven oder aus Daten des Probanden zu erhalten waren, nämlich:

Die Gesamtsystole, die Diastolendauer, die Austreibungszeit, die Pulslaufzeit, der Pulsweg, der systolische und diastolische Blutdruck und der Aortenquerschnitt.

7.1 Ergebnisse aus der Berechnung primärer Meßwerte:

Mit Hilfe der obengenannten Primärwerte können unter Benutzung der im Anhang zusammengefaßten Formeln (siehe Tab. 1) die wichtigsten Parameter der Herzdynamik berechnet werden. Außerdem wurden auch das Ausmaß der Volumenverschiebungen, sowie die Widerstandsverhältnisse in den Gefäßen (Kreislaufdynamik) mit Hilfe der physikalischen Strömungsgesetze bestimmt.

Für die Berechnung weiterer Größen der Herz- Kreislaufdynamik durch einen Computer mußten die primären Werte auf ein Datenblatt (siehe Beiblatt 2) und dann auf Lochkarten übertragen werden.

Berechnung und Bedeutung einzelner Funktionsgrößen, insofern sie noch nicht bekannt sind, sollen im folgenden erläutert werden:

M i t t l e r e r B l u t d r u c k (P M) :

Die systolischen und diastolischen Blutdruckwerte wurden, wie bereits erwähnt, nach dem Manschetten-

verfahren bestimmt. Der mittlere Blutdruck errechnet sich nach einer Formel von WEZLER (136) aus dem diastolischen Blutdruck (PD) plus 34 % der Blutdruckamplitude (PS - PD) : $PM + 0,43 \cdot (PS - PD)$.

P u l s p e r i o d e n d a u e r (T) :

Die Pulsperiodendauer, besser Herzperiodendauer, kann aus der Diastolendauer (D) und der Gesamtsystole (A + S) durch Addition errechnet werden:
 $T = D + (A + S)$.

H e r z f r e q u e n z (F) :

Die Pulsfrequenz pro Minute geht aus der Pulsperiodendauer (T) hervor. Sie ist vor allem von der sympathischen oder parasympathischen Innervation des Herzens abhängig:

$$F = 60/T \cdot 10^3.$$

P u l s w e l l e n g e s c h w i n d i g k e i t (c) :

Die Pulswellengeschwindigkeit wird aus der Wegdifferenz zwischen den Abnahmestellen der Pulsrezeptoren (DS) und der Laufzeit der Pulswelle zwischen diesen Punkten (DT) bestimmt. Sie ist abhängig vom Alter, Zustand des Gefäßsystems, Blutdruck und der nervalen Einstellung: $c = DS / DT \cdot 10$.

S c h l a g v o l u m e n (VS) :

Das eigentliche Ziel der physikalischen Kreislaufanalyse ist die Berechnung des Herzschlagvolumens mit Hilfe der Pulsschreibung. Wir verwendeten die Methode nach BROEMSER und RANKE (18). Auf die dieser Methode zugrunde liegende Theorie soll hier nur soweit eingegangen werden, als es für das Verständnis

der Schlagvolumenberechnung erforderlich ist. BROEMSER und RANKE gingen von der Vorstellung FRANK's (38) aus, daß in der Systole nur ein Teil des Schlagvolumens der linken Kammer sofort abfließt (Durchflußvolumen). Ein zweiter Teil wird im sogenannten Windkessel unter zunehmendem Druck gespeichert (Speichervolumen) und fließt in der Diastole allmählich ab. Dieses Speichervolumen ist errechenbar, wenn der Druckanstieg während der Systole und die Größe des Windkessels bekannt sind. Sie waren auch der Meinung, daß sich die Windkessellänge mit der Systolendauer verändert, und daß sich das Durchflußvolumen zum Speichervolumen wie die Systolen- zur Diastolendauer verhält. Unter Vereinfachung und Schematisierung der physiologischen Wirklichkeit wurde die Methode unter dem Leitgedanken des physikalischen Modells schrittweise angepaßt. Aus diesem Grund dauern auch die Diskussionen über die Aussagekraft der errechneten Werte an (40, 62, 77, 90, 97, 124, 137, 138).

Basierend auf der Methode nach BROEMSER und RANKE (18) benutzten wir folgende Schlagvolumenformel:

$$VS = \frac{1,33 \cdot Q \cdot (PS - PD) \cdot S \cdot T}{2,12 \cdot c \cdot (D + A) \cdot 100}$$

M i n u t e n v o l u m e n (VM) :

Das Herzzeitvolumen errechnet sich aus dem Schlagvolumen (VS) und der Herzfrequenz (F) :

$$VM = VS \cdot F \cdot 10^{-3}$$

P e r i p h e r e r W i d e r s t a n d (W) :

Der periphere Gesamtwiderstand des arteriellen Systems wirkt als Strömungswiderstand der Kraft des

Herzens entgegen, die das Blut durch die Gefäße preßt. Seine Größe hängt vom Bau und dem funktionellen Verhalten der peripheren Gefäße ab. Die nach hämodynamischen Grundgesetzen abgeleitete Formel zur Berechnung dieses Widerstandes lautet:

$$W = 1,33 \cdot PM \cdot T/VS.$$

H e r z a r b e i t (HA) :

Während der einzelnen Phasen der Herzkontraktion leistet das Herz Druck- Volumenarbeit und Beschleunigungsarbeit. Die Druckarbeit des rechten Ventrikels ist auf Grund des niedrigeren Blutdruckes kleiner als die des linken Ventrikels, während beide Ventrikel auf Grund des gleichen Volumens die gleiche Volumen- und Beschleunigungsarbeit vollbringen. In dieser Arbeit beziehen sich die größenmäßigen Angaben über die Herzarbeit und Herzleistung immer nur auf die linke Herzhälfte, wobei die Beschleunigungsarbeit (etwa 1 %) nicht berücksichtigt wurde. Die vom Herzen geleistete Druckvolumenarbeit entspricht in Abb. 4 der schraffierten Fläche:

$$HA = VS \cdot PM.$$

H e r z l e i s t u n g (HL) :

Physikalisch ist Leistung als Arbeit pro Zeit definiert. Für die Herzleistung ergibt sich dementsprechend aus der Herzarbeit (HA) und der Pulsperiodendauer (T) folgendes:

$$HL = HA / T \cdot 10^3.$$

Damit sind alle Größen besprochen, die sich durch Messung oder Berechnung mit Hilfe der physikalischen Herz- Kreislauffunktionsanalyse ermitteln ließen,

und die zur Schlagvolumenbestimmung notwendig sind.

Zur Bewertung der Ergebnisse ist die Kenntnis der Normalwerte notwendig. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die physiologische Schwankungsbreite durch exogene wie endogene Faktoren gerade unter Ruhebedingungen erheblich sein kann (12, 13, 40, 52, 61, 69, 86, 91, 108, 109).

Im Anhang sind die einzelnen ermittelten Größen mit Abkürzungen, Berechnungsformeln, Dimensionsangaben und Normalwerten tabellarisch zusammengestellt (siehe Tab. 1).

7.2 Statistik:

Die primären Meßwerte und die Berechnungsergebnisse der Herz- Kreislaufdynamik wurden für jeden der untersuchten Sportler als Mittelwerte aus 10 Herzaktionen des registrierten Kurvenstreifens gewonnen.

Das a r i t h m e t i s c h e M i t t e l ($\bar{x}$) wird aus dem Quotienten der Summe der Einzelwerte (x_i) und der Zahl der Messungen (n) nach der Formel bestimmt:

$$\bar{x} = \frac{x_i}{n}$$

Für die einzelnen Herz- Kreislaufgrößen der verschiedenen Sportgruppen wurde ebenfalls aus den entsprechenden Mittelwerten der einzelnen Gruppenvertreter nochmals das arithmetische Mittel gebildet.

Die S t r e u u n g (s) der so gewonnenen Werte innerhalb einer Gruppe, d.h. die Standardabweichung, läßt sich aus der Formel ableiten:

$$s = \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

(n = Anzahl der Sportler in einer Gruppe).

Die V a r i a n z , die dem Quadrat der Standardabweichung entspricht, wurde in den Tabellen unberücksichtigt gelassen.

Zwei Stichproben wurden dann zunächst getrennt berechnet und nach dem t - T e s t auf Gleichheit der Varianten und Unterschiede der Mittelwerte geprüft. Einzelwerte, die Null waren, wurden eliminiert.

Die Werte zweier gleich langer Stichproben wurden dann im Sinn "verbundener Stichproben" mit dem STUDENT-Test paarweise verglichen.

8. Kritik der Methodik:

8.1 Kritik der Herzvolumenbestimmung:

Die Fehlerbreite der röntgenologischen Herzvolumenbestimmung nach MUSSHOF und REINDELL beträgt nach Untersuchungen von REINDELL (106) selbst ungefähr 5 %. MUSSHOF (93) gibt einen ähnlich großen Fehler an, während GEBHARDT (42, 45) für die Bestimmung des Herzvolumens nach der modifizierten ROHRER-KAHLSTORF'schen Formel eine Schwankungsbreite von 35 % ermittelt hat.

Diese großen Differenzen treten bei allen Methoden auf, die mit einem konstanten Faktor arbeiten, da dieser nicht der dauernden Änderung der Herzform und Herzgröße gerecht wird (22, 67, 68, 78, 95).

Die Ungewißheit, in welcher Aktionsphase das Herz bei der Aufnahme getroffen wurde, sowie die Unsicherheit über die Atemlage und die Druckverhältnisse im Thorax tragen ebenfalls zur ungenauen Beurteilung des Herzvolumens bei. REINDELL (106) allerdings mißt nach Vergleichen mit herzphasengesteuerten Aufnahmen der Aktionsphase des Herzens keine Bedeutung zu. Eine weitere Fehlermöglichkeit ist schließlich auch in der Ausmessung der Röntgenaufnahmen zu sehen.

Da es in dieser Arbeit weniger auf absolut genaue Herzvolumina ankommt, sondern vielmehr Vergleiche angestellt werden, sind die beschriebenen Fehlermöglichkeiten von untergeordneter Bedeutung.

8.2 Kritik der physikalischen Herz- und Kreislaufuntersuchung:

Gegen die Anwendung der physikalischen Kreislaufanalyse an Menschen wurden schon frühzeitig Einwendungen erhoben (40, 62, 138). WEZLER (137) selbst gibt anhand experimenteller Überprüfung für die physikalische Methode von BROEMSER - RANKE bei Anwendung im Ruhestand des Kreislaufs einen etwa gleichgroßen mittleren Fehler von nur wenigen Prozent an und einen maximalen Fehler von etwa $\pm 20\%$.

Die Ungenauigkeit des physikalischen Untersuchungsverfahrens beruht einerseits auf methodischen Fehlern.

Denn die am Modell und im Tierversuch unter anderen Voraussetzungen (blutige Druckmessung, Messung des Aortenquerschnittes und der Windkessellänge am getöteten Tier) gewonnenen Erkenntnisse konnten nur durch Vereinfachung und Kompromisse für das unblutige Verfahren der Analyse der Herz- Kreislaufdynamik genutzt werden.

Andererseits unterliegt das Verfahren zahlreichen Meßfehlern, da die Ausmessung der verschiedenen Einzelgrößen nur ungenau vorgenommen werden kann. Die Fehlergröße hängt dabei, neben den rein methodischen Fehlern, in erster Linie von der Sorgfalt bei den Untersuchungen und der selbstkritischen Auswertung der gewonnenen Kurven ab.

Verschiedene Autoren haben die Fehlermöglichkeiten der physikalischen Methode untersucht und sind teilweise zu verschiedenen Ergebnissen gelangt:

So gibt z.B. ZISSLER (138) für das Schlagvolumen eine absolute Fehlermöglichkeit von 50 bis 60 % an und eine relative, d.h. bei wiederholten Untersuchungen an derselben Person von 20 bis 30 %. Hierbei sollen auf die Messung der Arterienlänge 2 %, auf die Pulslaufzeit 5 %, auf die Pulswellengeschwindigkeit 10 % und auf die Blutdruckamplitude ebenfalls 10 % entfallen. GADERMANN (40) kommt zu ähnlichen Ergebnissen.

MELLEROWICZ (86) gibt für die Ausmessung des EKG einen Meßfehler von etwa 3 % an. Gegenüber den bisher angeführten Fehlern und der großen Schwankungsbreite der physiologischen Kreislaufgrößen in der Tagesrhythmik (61, 69) ist die Abweichung bei der Ausmessung

des EKG unerheblich.

Die Fälschung der Blutdruckamplitude durch das Manschettenverfahren beträgt nach WEZLER (136) 10 bis 15 %. Die Abweichungen des Aortenquerschnitts nach SUTER (129) werden von WEZLER und BÖGER (136) auf 15 % geschätzt. Durch den erfahrungsgemäß meist etwas zu kleinen Wert für den Aortenquerschnitt sollen, wie WEZLER-BÖGER einwenden, zu hoch angenommene Blutdruckwerte wieder ausgeglichen werden.

Trotzdem dürfte die Messung des Blutdrucks nach KOROTKOFF gerade bei muskelkräftigen Personen durch zu hoch gemessene Blutdruckwerte bedeutende Fehler bei der Schlagvolumenbestimmung verursachen (63, 69, 73, 132). WEZLER und BÖGER (136) schätzen diesen Fehler auf 10 bis 30 %, FRANK (38) hielt sogar Fehler bis 100 % für möglich.

Vor allem bei der Bestimmung des Schlagvolumens summieren sich die Fehler der Einzelwerte. Durch formelbedingte Abhängigkeit werden auch andere Kreislaufgrößen, z.B. der periphere Widerstand, in ihrer Aussagekraft wenig zuverlässig und ihre gegenseitigen Relationen müssen zurückhaltend beurteilt werden. Die Abänderung eines rein formelmäßigen Zusammenhanges in ein kausales Abhängigkeitsverhältnis kann nämlich zu einer falschen Beurteilung der einzelnen Herz-Kreislaufgrößen führen; daher ist vor der kritiklosen Anwendung der physikalischen Kreislaufanalyse zu warnen.

Größere Fehler können weitgehend dadurch ausgeglichen werden, daß diese Methode an einem Kollektiv, wie bei unseren Untersuchungen, durchgeführt wird, und die

Einzelergebnisse gemittelt werden. Anspruch auf die Angabe a b s o l u t e r Werte kann die physikalische Analyse der Herz- und Kreislaufdynamik also nicht erheben; Aussagekraft aber haben relativ genaue Mittelwerte. Deshalb eignet sich dieses Verfahren der Herz- Kreislaufanalyse besonders gut für Vergleichsuntersuchungen bestimmter Personengruppen.

C. U n t e r s u c h u n g s e r g e b n i s s e

1. Größe des Herzens bei verschiedenem Trainingsgrad:

1.1 Definition des " Sportherzens " :

Der Begriff " Sportherz " wurde 1899 von HENSCHEN (51) geprägt, als er perkutorisch gewonnene Untersuchungsergebnisse über Herzvergrößerungen bei Skilangläufern veröffentlichte. Er bezeichnete das durch Sport vergrößerte Herz, was später durch MORITZ (92) und DIETLEN (30) auch röntgenologisch bestätigt wurde, als Sportherz.

In der folgenden Zeit wurde von sehr zahlreichen Untersuchern (5, 16, 29, 30, 66, 102, 103, 106, 110) der Einfluß körperlicher Belastung auf die Herzvergrößerung im Militärdienst, durch Schwerarbeit und vor allem durch Ausdauersport nachgewiesen und positiv wie auch negativ bewertet.

Heutzutage sind sich die kompetenten Untersucher darüber einig, daß es sich bei dem vergrößerten Herzen des Sportlers nicht um eine pathologische Erscheinung handelt, sondern um einen physiologischen Anpassungsvorgang des gesunden Herzens an die geforderte Mehrbelastung (32, 43, 44, 55, 57, 64, 71, 96, 121, 122, 124, 125).

Dieser Herzvergrößerung liegt sowohl eine Größenzunahme sämtlicher Herzhöhlen mit vermehrter Restblutmenge in Ruhe als auch eine physiologische Hypertrophie der

Muskulatur zugrunde (57, 102, 104, 106, 107, 110, 114). Die Hypertrophie ist im Vergleich zur Dilatation gering, so daß das Sportherz im allgemeinen das von LINZBACH (79) festgesetzte "kritische Herzgewicht" von 500 g nicht erreicht. Auch pathologisch-anatomische und histologische Untersuchungen ergaben keinen krankhaften Befund beim Sportherzen (29, 30, 66, 79, 106, 108).

Für die Zunahme des Herzvolumens sind nicht intrakardiale Druckerhöhungen im Sinne der FRANK-STRAUB-STARLING'schen Herzgesetze verantwortlich, sondern vor allem extrakardiale Faktoren, im wesentlichen Tonusänderungen im Myokard (4, 24, 43, 44, 106, 108).

Die Vergrößerung und Umformung entwickelt sich beim Sportherzen im allgemeinen erst im Laufe langzeitlicher sportlicher Betätigung (57, 104, 107, 110, 115), wobei die Art, Dauer und Intensität des Trainings eine entscheidende Rolle spielen (2, 55, 56, 60, 72, 81, 82, 85, 88, 104, 107, 122, 134 u.a.). So führt z.B. ein über Jahre durchgeführtes regelmäßiges Ausdauertraining zu den deutlichsten Veränderungen am Herz-Kreislaufsystem, wie wir später noch sehen werden.

Der Befund der Herzvergrößerung ist beim Sportler jedoch nicht obligat, da die Herzgröße (ähnliche wie bei der Hypertrophie der Skelettmuskulatur) auch von konstitutionell bedingten Faktoren abhängt (58, 68, 71, 104, 107).

Durch die "regulative Dilatation" (106) und die physiologische Hypertrophie besitzt das "adaptiv vergrößerte"

Herz des Sportlers (71) eine erhöhte Leistungsreserve und erreicht dadurch in seiner Arbeitsweise ein Höchstmaß an Ökonomie (57, 83, 86, 107).

1.2 Absolutes Herzvolumen:

Die Ergebnisse der Herzvolumenbestimmung bei Sportlern verschiedener olympischer Disziplinen sind für die einzelnen Gruppen in Tab. 4 und 13 und in Abb. 5 gegenübergestellt. Danach ergibt sich mit zunehmendem Herzvolumen für die verschiedenen Sportgruppen folgende Reihenfolge:

- T e c h n i s c h e D i s z i p l i n e n :
Die Sportler dieser Gruppe hatten ein mittleres absolutes Herzvolumen von 849 cm^3 bei einer Variation von 670 bis 1180 cm^3 . Innerhalb dieser Gruppe hatten wiederum die Schützen die größten Herzen, gefolgt von den Fechtern und Turnern. Das kleinste Herzvolumen aller untersuchten Sportler wurde mit 670 cm^3 ebenfalls an einem Vertreter dieser Leistungsgruppe bestimmt, und zwar an einem 24-jährigen, 175 cm großen und 70 kg schweren cubanischen Turner.
- K u r z s t r e c k e :
Der Mittelwert des Herzvolumens beträgt in dieser Gruppe $906,6 \text{ cm}^3$ mit einer Schwankungsbreite von 745 cm^3 bis zu 1003 cm^3 .
- M a n n s c h a f t s s p o r t :
Die 10 Fußballspieler, ein Feldhockey- und ein Handballspieler hatten ein mittleres Herzvolumen von 922 cm^3 , wobei der Hockeyspieler mit

734 cm³ das kleinste, ein Fußballspieler mit 1182 cm³ das größte Herzvolumen dieser Gruppe besaß. Das Herzvolumen des Handballspielers lag mit 956 cm³ zwischen diesen beiden Extremwerten.

- K r a f t - u n d A u s d a u e r s p o r t :

Die Vertreter des Kraft- Ausdauersports, 16 Boxer, 1 Freistilringer und 1 Judokämpfer hatten ein mittleres Herzvolumen von 974,8 cm³ mit einer Variation von 712 bis 1408 cm³ bei den Boxsportlern.

Die besonders große Variationsbreite läßt sich bei den Boxern durch die Korrelation von Körpergewicht und Herzvolumen erklären; denn in dieser Gruppe wurden sowohl Fliegen-, wie Schwergewichtler zusammengefaßt.

- A u s d a u e r s p o r t :

Das Herzvolumen dieser Gruppe betrug im Mittelwert 1022,3 cm³. Das kleinste Herzvolumen hatte ein Marathonläufer mit 777 cm³, das größte mit 1246 cm³ ein 3000 m- Hindernisläufer.

Insgesamt betrachtet war jedoch das Herzvolumen der Marathonläufer größer als das der übrigen Langstreckenläufer.

- M i t t e l s t r e c k e :

Die Herzvolumenwerte dieser Gruppe sind leider nicht allzu aussagekräftig, da eigentlich nur 1 Vertreter, ein 400 m- Läufer, unter den Untersuchten war. Ein Fünfkämpfer wurde ebenfalls auf Grund der kardiovaskulären Anforderungen seiner interdisziplinären Sportart dieser Gruppe zugeteilt. Sein Herzvolumen wurde mit 1113 cm³, das des 400 m- Läufers mit

1104 cm³ bestimmt, woraus sich ein Mittelwert von 1108,5 cm³ ergibt.

- S c h w i m m e n :

Das Herzvolumen der 5 Schwimmer dieser Gruppe betrug gemittelt 1231,6 cm³, bei einer Schwankung von 1023 bis 1317 cm³. Die beiden 400 m- Schwimmer wiesen ein um 104 cm³ größeres Volumen als die 100 m- Schwimmer auf.

- A u s d a u e r - u n d K r a f t s p o r t :

Unter den 10 Ausdauer- Krafttrainierten findet man das größte absolute Herzvolumen aller Untersuchten. Das Herzvolumen eines 20-jährigen, 197 cm großen und 92 kg schweren australischen Ruderers hatte eine Größe von 1698 cm³ und war damit gut zweieinhalb mal so groß wie das kleinste Volumen aller Untersuchten. Das mittlere Herzvolumen beträgt in dieser Gruppe 1272,2 cm³.

Die Radsportler hatten insgesamt ein um 89 cm³ kleineres Herzvolumen als die Ruderer; das kleinste Herzvolumen von 1043 cm³ gehörte in dieser Sportgruppe ebenfalls zu einem Radrennfahrer.

Als Normgröße für das Herz männlicher Personen zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr finden sich im Schrifttum Herzvolumenwerte von 700 bis 800 cm³ (57, 58, 94, 107, 110, 114, 115, 118, 121, 122, 125). Die absolute Herzvolumina der einzelnen Sportdisziplinen innerhalb der verschiedenen Leistungsgruppen sind in Tab. 13 für alle untersuchten Sportler als Mittelwerte zusammengestellt.

1.3 Relatives Herzvolumen:

In Anbetracht der großen Streubreite der Volumina und in dem Bestreben, die Auswirkung der Sportart auf das Herzvolumen innerhalb der einzelnen Gruppen zu ermitteln, wurden Untersuchungen über die Abhängigkeit des absoluten Herzvolumens vom Körpergewicht durchgeführt.

Die Ergebnisse dieses sogenannten relativen Herzvolumens, das sich aus dem Quotienten des absoluten Volumens und des Körpergewichts berechnet, sind für die einzelnen Sportgruppen in Tab. 4 und Abb. 6 dargestellt.

Im Gegensatz zum absoluten Herzvolumen ergibt sich für das körpergewichtsbezogene (relative) Herzvolumen der einzelnen Leistungsgruppen folgende, abweichende Reihenfolge:

- **Ausdauer Sportler:**

Den absolut größten Quotienten ($17,0 \text{ cm}^3/\text{kg}$) hatte die Gruppe der Langstreckenläufer. Im Verhältnis zum Herzvolumen (und auch absolut) hatten sie das geringste Körpergewicht (60 kg) aufzuweisen.

- **Schwimmer:**

Für diese Gruppe wurde ein Quotient von $15,7 \text{ cm}^3/\text{kg}$ für das relative Herzvolumen ermittelt. Von allen untersuchten Sportlern wiesen sie das zweitgrößte Gewicht und Herzvolumen auf.

- **Ausdauer - Krafttrainierte, Kraft - Ausdauer Sportler und Mittelstreckler:**

Annähernd gleiche relative Herzvolumina fanden sich

bei den Ausdauer-Krafttrainierten ($14,79 \text{ cm}^3/\text{kg}$), den Kraft-Ausdauersportlern ($14,75 \text{ cm}^3/\text{kg}$) und den Mittelstreckenläufern ($14,85 \text{ cm}^3/\text{kg}$).

Die Ausdauer-Kraftsportler hatten, absolut gesehen, die größte Herzvolumina, waren aber auch die an Gewicht schwersten aller Sportler.

- M a n n s c h a f t s s p o r t l e r u n d
K u r z s t r e c k l e r :

Für die Vertreter des Mannschaftssportes wurde ein Quotient von $12,94 \text{ cm}^3/\text{kg}$ bestimmt, für die Kurzstreckenläufer ein fast gleich großer von $12,77 \text{ cm}^3/\text{kg}$.

- T e c h n i s c h e D i s z i p l i n e n :
- Das kleinste relative Herzvolumen ($11,91 \text{ cm}^3/\text{kg}$) hatten unter allen Untersuchten die Vertreter dieser Gruppe. Der kleine Quotient kommt bei ihnen durch das im Verhältnis zum geringen Herzvolumen hohe Gewicht zustande, ähnlich wie bei den Ausdauer- Krafttrainierten, die zwar das größte Herzvolumen besitzen, aber auch das absolut höchste Gewicht.

Für das relative Herzvolumen werden Quotienten zwischen 11 und $12 \text{ cm}^3/\text{kg}$ für 20- bis 30-jährige Normalpersonen als Durchschnittswerte angegeben ($4, 32, 57, 58, 94, 107, 115, 122$).

2. Arbeitsweise des Sportherzens bei den verschiedenen Gruppen:

2.1 Herzfrequenz:

Die Ergebnisse der mittleren Ruhepulsfrequenz, die bei der physikalischen Herz- und Kreislaufuntersuchung für

die einzelnen Sportgruppen ermittelt wurden, sind in Tab. 5 zusammengestellt.

Als normale Pulsfrequenz sind in der Literatur Werte zwischen 60 bis 80/min angegeben (23, 50, 55, 57, 80, 81, 86, 102, 104, 107, 116).

REINDELL (107) gibt für 20- bis 30-jährige Normalpersonen einen Mittelwert von 69,6/min an. Ungefähr 2/3 aller gesunden Personen haben Herzfrequenzen zwischen 60 und 80/min.

Die relativ höchsten Schlagfrequenzen bei den untersuchten Sportlern wurden bei den Kurzstrecklern (63,48/min) und den Vertretern der Technischen Disziplinen (61,07/min) gefunden.

Bei den Schwimmern, Ausdauer-Krafttrainierten und Mittelstrecklern lag die mittlere Frequenz bei 59/min, bei den Mannschaftssportlern und den Kraft-Ausdauer-sportlern zwischen 56 und 57/min.

Am deutlichsten erniedrigt war die Herzfrequenz bei den Ausdauertrainierten (den Langstrecklern). Sie hatten eine mittlere Herzfrequenz von nur 49,5/min. Die absolut niedrigste Herzfrequenz wurde mit 32,89/min bei einem 38-jährigen äthiopischen 10 000 m- Läufer gefunden.

2.2 Schlag- und Minutenvolumen:

Die Schwankungsbreite der normalen Schlagvolumenwerte, bedingt vor allem durch die Ungenauigkeit der Bestimmungsmethode, beträgt bei der physikalischen Kreislaufanalyse in Ruhe etwa 50 bis 80 cm³ (18, 24, 41, 49, 57, 70, 86, 95, 107, 137). Man findet jedoch auch Werte über 100 cm³, die allerdings nach anderen

Methoden bestimmt wurden (6, 7, 10, 124).

Die g r ö ß t e n Schlagvolumina hatte die Gruppe der K u r z s t r e c k l e r mit $137,71 \text{ cm}^3$.

Die Ausdauer- Krafttrainierten besaßen dagegen mit $116,10 \text{ cm}^3$, ebenso wie die Mannschaftssportler ($110,22 \text{ cm}^3$) ein etwas kleineres Schlagvolumen.

Für die Schwimmer ($96,05 \text{ cm}^3$) und die Kraft- Ausdauersportler ($94,21 \text{ cm}^3$) wurden annähernd gleiche mittlere Schlagvolumenwerte gefunden.

Die Gruppe der Mittelstreckenläufer hatte mit $87,18 \text{ cm}^3$ das zweitkleinste Schlagvolumen; die A u s d a u e r t r a i n i e r t e n besaßen mit $81,14 \text{ cm}^3$ das k l e i n s t e mittlere Schlagvolumen aller untersuchten Sportler.

Die Ergebnisse für das Schlagvolumen sind in Tab. 6 für die einzelnen Gruppen zusammengestellt.

Für das M i n u t e n v o l u m e n werden entsprechend den Schlagvolumenwerten Normwerte zwischen 3 bis 6 l/min angegeben (13, 18, 23, 57, 70, 80, 86, 107, 110).

Unter den untersuchten Sportdisziplinen wiesen die K u r z s t r e c k l e r das absolut g r ö ß t e Minutenvolumen ($8,48 \text{ l/min}$) auf.

Für die Gruppe der Technischen Disziplinen ($6,44 \text{ l/min}$), die Mannschaftssportler ($6,33 \text{ l/min}$) und die Ausdauer- Krafttrainierten ($6,88 \text{ l/min}$) wurden um durchschnittlich 2 l/min kleinere mittlere Herzminutenvolumenwerte gefunden.

Die Kraft- Ausdauersportler hatten mit $5,29 \text{ l/min}$, ebenso wie die Schwimmer ($5,66 \text{ l/min}$) und die

Mittelstreckler (5,10 l/min) noch kleinere Minutenvolumina.

Wie beim Schlagvolumen hatte die Gruppe der Ausdauertrainierten auch beim Minutenvolumen den kleinsten Wert mit 4,0 l/min. Die Werte der einzelnen Minutenvolumina sind für die verschiedenen Sportgruppen in Tab. 7 zusammengestellt.

Um die Beziehung zwischen der Körperoberfläche und dem Herzminutenvolumen mit zu berücksichtigen und dadurch den Einfluß der betriebenen Sportart sichtbarer zu machen, bildeten wir den als Herzindex bezeichneten Quotienten aus Herzminutenvolumen und Körperoberfläche (siehe Tab. 7).

Für den Herzindex ergibt sich ein ähnliches Bild wie für das Herzminutenvolumen:

Die Kurzstreckensportler hatten den größten Herzindex mit 4,51 l/min/m².

Für die Technischen Disziplinen, die Mannschaftssportler und die Ausdauer- Kraftsportler wurden Werte um 3 l/min/m² gefunden. Die Kraft- Ausdauertrainierten und die Schwimmer hatten einen Herzindex knapp unter 3 l/min/m², während der Wert für die Mittelstreckler (2,67 l/min/m²) noch etwas niedriger lag.

Die Ausdauertrainierten hatten auch beim Herzindex den absolut kleinsten Wert mit 2,30 l/min/m².

Als Normwert für den Herzindex lassen sich 3,5 l/min/m² aus dem Minutenvolumen und der Körperoberfläche ermitteln, wobei die Schwankungsbreite zwischen 2,5 und 4,5 l/min/m² liegt (8, 12, 23, 57, 80, 107).

2.3 Herzarbeit und Herzleistung:

Für die Herzarbeit gelten 10 000 bis 12 000 ml · cm und für die Herzleistung, bei der die Herzfrequenz mitberücksichtigt wird, 12 000 bis 14 000 ml · cm/sec in Ruhe als Normwerte (77, 86, 23, 24).

Die Gruppe der K u r z s t r e c k e n l ä u f e r leistete unter Ruhebedingungen die g r ö ß t e Herzarbeit und Herzleistung aller untersuchten Sportler.

Nur bei den Vertretern der Technischen Disziplinen lag die Herzleistung größenmäßig ebenfalls über dem Wert für die Herzarbeit. Bei allen anderen Sportgruppen fanden sich auf Grund der erniedrigten Herzfrequenz für die Herzleistung kleinere Werte als für die Herzarbeit (siehe Tab. 8).

Die Ausdauer- Kraftsportler hatten hinter den Kurzstreckenläufern die zweitgrößten Werte für Herzarbeit und Herzleistung, gefolgt von den Mannschaftssportlern.

Die Schwimmer, Kraft- Ausdauersportler und Mittelstreckenläufer zeigten im Vergleich zu den obengenannten Gruppen für die Herzarbeit und die Herzleistung einen um durchschnittlich 2 000 Einheiten niedrigeren Wert.

Die absolut n i e d r i g s t e n Zahlengrößen wurden bei den A u s d a u e r t r a i n i e r t e n ermittelt. Dabei ergab sich für die Herzarbeit ein Betrag von 7 699,34 ml · cm und für die Herzleistung ein noch kleinerer von 6 341,21 ml · cm/sec.

Einen Überblick über sämtliche ermittelten Werte für die Herzarbeit und die Herzleistung der einzelnen Sportgruppen in Ruhe gibt Tab. 8.

3. Peripherer Kreislauf bei verschiedenartig Trainierten:

3.1 Blutdruckwerte:

Bei 20- bis 30-jährigen Normalpersonen beträgt der systolische Blutdruck normalerweise 120 mmHg, mit einer physiologischen Schwankungsbreite von 100 bis 130 mmHg. Der diastolische Blutdruck beträgt allgemein 80 mmHg (1, 28, 31, 73, 86, 113, 136).

BLUMBERGER (12) und REINDELL (107) geben neben diesem Durchschnittswert eine Variation von 60 bis 90 mmHg an.

Aus dem diastolischen Blutdruck und der Blutdruckamplitude läßt sich ein mittlerer Blutdruckwert von ungefähr 100 mmHg berechnen.

Die Blutdruckamplitude liegt bei Normalpersonen entsprechend der Differenz aus systolischem und diastolischem Blutdruck normalerweise zwischen 30 und 50 mmHg unter Ruhebedingungen.

Die h ö c h s t e n s y s t o l i s c h e n Blutdruckwerte hatten die M i t t e l s t r e c k e n - l ä u f e r mit 133,0 mmHg.

Für die Schwimmer, die Ausdauer- Kraftsportler, die Mannschaftssportler und die Kurzstreckler fanden sich etwa gleich hohe systolische Ruheblutdruckwerte.

Niedrigere Werte für den systolischen Blutdruck in Ruhe wurden bei den Vertretern der Technischen Disziplinen und den Kraft- Ausdauersportlern ermittelt.

Den niedrigsten systolischen Blutdruck in Ruhe hatten die Ausdauertrainierten mit 120,29 mmHg.

Die diastolischen Blutdruckwerte schwankten zwischen 61,43 mmHg bei den Kurzstrecklern und 82,0 mmHg bei den Mittelstreckenläufern. Die übrigen Sportgruppen lagen im Mittel um einen Wert von 76 mmHg für den diastolischen Blutdruck.

Der mittlere Blutdruck schwankte für sämtliche Sportler um einen Mittelwert von 99 mmHg. Dabei hatten die Mittelstreckenläufer den höchsten Blutdruckwert (103,93 mmHg), die Kurzstreckenläufer den niedrigsten mittleren Blutdruckwert (91,22 mmHg).

Entsprechend den systolischen und diastolischen Blutdruckwerten ergab sich die höchste Blutdruckamplitude (69,28 mmHg) in Ruhe für die Kurzstreckenläufer.

Für die Gruppen der Mannschaftssportler, Ausdauer-Kraftsportler, Schwimmer, Mittelstreckenläufer und die Vertreter der Technischen Disziplinen wurden Blutdruckamplituden zwischen 50 und 56 mmHg ermittelt.

Nur die Kraft- Ausdauertrainierten lagen mit einer Amplitude von 47,41 mmHg ebenso wie die Ausdauertrainierten, welche die niedrigste Blutdruckamplitude in Ruhe hatten

(43,53 mmHg), unter einem Wert von 50 mmHg.

Die systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruckwerte unter Ruhebedingungen, sowie die Blutdruckamplituden der verschiedenen Sportgruppen sind in Tab. 9 zusammengefaßt.

3.2 Peripherer Gefäßwiderstand:

Die Norm für den peripheren Gesamtwiderstand beträgt 700 Einheiten (12, 13, 80, 86, 107, 109). Es finden sich jedoch in der Literatur auch Werte bis zu 1 400 Einheiten (23, 57).

Von allen untersuchten Sportlern hatten die K u r z - s t r e c k e n l ä u f e r den deutlich k l e i n - s t e n peripheren Widerstand unter Ruhebedingungen (951,48 dyn · sec/cm⁵).

Für die Vertreter der Technischen Disziplinen, die Ausdauer- Kraftsportler und die Mannschaftssportler errechneten sich für den peripheren Widerstand um ungefähr 400 Einheiten größere Werte.

Widerstandswerte um 1 700 Einheiten fanden sich bei den Kraft- Ausdauersportlern, den Schwimmern und den Mittelstreckenläufern.

Den mit deutlichem Unterschied h ö c h s t e n peripheren Widerstand hatten die A u s d a u e r - t r a i n i e r t e n mit 2 043,08 dyn · sec/cm⁵. In Tab. 10 sind die Mittelwerte des peripheren Gesamtwiderstandes für die einzelnen Sportgruppen in Ruhe zusammengefaßt.

3.3. Pulswellengeschwindigkeit:

Die Pulswellengeschwindigkeit beträgt bei Normalpersonen zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr 4 bis 6 m/sec (23, 36, 50, 57, 61, 86, 110, 135).

Die n i e d r i g s t e Pulswellengeschwindigkeit wurde bei der Gruppe der T e c h n i s c h e n D i s z i p l i n e n mit 4,84 m/sec gefunden.

Für die Kraft- Ausdauersportler, die Kurzstreckenläufer, Ausdauer- Krafttrainierten und Schwimmer ergaben sich Mittelwerte um 5,3 m/sec für die Pulswellengeschwindigkeit unter Ruhebedingungen.

Etwas höhere Pulswellengeschwindigkeiten ließen sich bei der Gruppe der Mannschaftssportler und bei den Ausdauertrainierten feststellen. Die h ö c h s t e Pulswellengeschwindigkeit wurde bei den M i t t e l - s t r e c k e n l ä u f e r n mit 6,05 m/sec gefunden.

Sämtliche Mittelwerte der Pulswellengeschwindigkeit sind für die verschiedenen untersuchten Sportgruppen in Ruhe in Tab. 11 zusammengestellt.

D. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

1. Herzdynamik:

Der Einfluß des Sports auf Größe und Form des Herzens ist in neuerer Zeit durch ausgedehnte Untersuchungen vor allem an ausdauertrainierten Hochleistungssportlern endgültig nachgewiesen worden (5, 32, 48, 55, 56, 57, 60, 64, 83, 84, 88, 98, 102, 104, 107, 110, 114, 118, 122, 125, 130, 134).

1.1. Morphologische Veränderungen beim Sportherzen:

Über die Art der Vergrößerung des Sportherzens herrschten früher verschiedene Meinungen. Die Größenzunahme wurde z.B. als Folge einer Muskelschädigung (16, 29), oder als Inanspruchnahme von Reservekräften betrachtet.

Die kompetenten Untersucher sind sich heutzutage darüber einig, daß das Sportherz als physiologische Anpassung an die vermehrte körperliche Belastung zu sehen ist (3, 25, 30, 44, 57, 71, 83, 84, 85, 95, 104, 107, 110, 111, 116, 117, 130).

REINDELL (106, 107) bezeichnete deshalb die Veränderungen beim Sportherzen als "regulative Dilatation" oder als "regulative Herzvergrößerung"; KNIPPING (71) spricht von "adaptiver Herzvergrößerung", um zum Ausdruck zu bringen, daß die Größenänderungen des Herzens beim Sportler im wesentlichen Tonusänderungen des Myokards sind, wobei der intrakardiale Druck keine Rolle spielt.

1.1a Absolutes Herzvolumen:

Auch unsere Untersuchung bestätigt eine Größenzunahme des Herzvolumens bei Sportlern in Abhängigkeit von den Anforderungen der verschiedenen Trainings- und Sportarten (siehe Tab. 4, 12 und 13). Die Ergebnisse unserer Herzvolumenbestimmungen bei Sportlern verschiedener Disziplinen zeigen, daß die mittleren absoluten Herzvolumina der einzelnen Sportgruppen (von 849 bis $1272,2 \text{ cm}^3$) im Vergleich zum Normalwert (700 bis 800 cm^3) alle vergrößert sind.

Die große Streubreite der absoluten Herzvolumina von 670 cm^3 in der Gruppe der Technischen Disziplinen bis zu 1698 cm^3 bei den Ausdauer- Kraftsportlern ist durch die Verschiedenartigkeit der Sportdisziplinen (z.B. Turnen bzw. Rudern) und der damit verbundenen Art des Trainings sowie durch die körperliche Konstitution (Gewicht, Größe) des Sportlers zu erklären (30, 68, 95, 110, 114).

So hatten z.B. die Ausdauer - Kraft - sportler, welche die schwersten und längsten aller untersuchten Sportler waren, auch das absolut höchste Herzvolumen, das gegenüber der Norm um gut das Eineinhalbfache vergrößert war.

Da die Vergrößerung des Herzvolumens also sowohl als Ergebnis einer konstitutionellen Vergrößerung aller Organe und/oder als Ergebnis der Anpassung an eine bestimmte Sport- und Trainingsart anzusehen ist, kann die Betrachtung des absoluten Herzvolumens allein nicht befriedigen.

1.1b Relatives Herzvolumen:

Um den Einfluß der verschiedenen Sportarten auf die Herzgröße zu verdeutlichen, wurde deshalb das absolute Herzvolumen in Beziehung zum Körpergewicht gesetzt (siehe Abb. 6 und 7).

Nach neueren Untersuchungen wird das Körpergewicht als das sicherste Korrelat des Herzvolumens betrachtet (68, 95, 107). Der Korrelationskoeffizient soll allerdings bei Sportlern niedriger sein als bei Untrainierten (57, 68, 113, 115, 126, 134). Da sportliches Training vor allem die Herzgröße, jedoch weniger das Körpergewicht beeinflusst, überrascht diese Aussage keineswegs.

Auch unsere Ergebnisse zeigten nur bei den Kraft-Ausdauersportlern, den Schwimmern, den Ausdauer-Krafttrainierten und den Mittelstrecklern eine feste positive Beziehung des Herzvolumens zum Körpergewicht (siehe Abb. 7).

Bei diesen Gruppen war mit Zunahme der Körpergröße, besonders aber des Körpergewichts eine Vergrößerung des absoluten Herzvolumens festzustellen. Die für die verschiedenen Gruppen gefundenen sehr engen Beziehungen zwischen absolutem und relativem Herzvolumen (siehe Abb. 6) bekräftigen diese Aussage, mit Ausnahme zweier Gruppen:

- Bei den Ruderern und den Amateur-Radrennfahrern, die vor allem Ausdauer- und Krafttraining betreiben, war das Herzvolumen im Verhältnis zu ihrem hohen Körpergewicht relativ kleiner, obwohl die Vertreter dieser Gruppe das absolut größte Herzvolumen aller Probanden hatten.

Das große Körpergewicht ist bei dieser Gruppe durch die für ihre Sportart charakteristische kräftige Körperkonstitution und besonders durch das Krafttraining bedingt.

- Die Langstreckenläufer dagegen, die von ihrer Statur her die Zweitkleinsten und Leichtgewichtigsten aller Untersuchten waren, hatten durch langjähriges Ausdauertraining im Rahmen ihrer konstitutionellen Möglichkeiten im Verhältnis zu ihrem sogar gegenüber der Norm erniedrigten Gewicht (60 kg) die relativ größte Herzvolumenzunahme erreicht. Für das körperrgewichtsbezogene Herzvolumen wurde bei dieser Gruppe mit $17,0 \text{ cm}^3/\text{kg}$ ein fast um 50 % über der Norm liegender Wert ermittelt.

Die Tabellen 4, 12 und 13 lassen folgendes erkennen: Die größten absoluten Herzvolumina sind bei jenen Sportlern zu finden, die konstitutionell am kräftigsten sind (z.B. Ruderer und Radrennfahrer), die größten relativen Herzvolumina jedoch bei den Vertretern der Sportarten, welche Dauerleistungen erfordern (Marathonläufer und Geher).

Sportarten mit überwiegendem Kraft- oder Schnellkrafttraining (Technische Disziplinen, Kurzstrecke) nehmen nur geringen Einfluß auf die Zunahme des Herzvolumens.

Dauerleistungen dagegen führen zu den größten Herzvergrößerungen bezogen auf das Körpergewicht. Je größer das körperrgewichtsbezogene Herzvolumen eines Sportlers ist, desto größer ist seine Fähigkeit zur Dauerleistung.

Dauerleistung ist also im Gegensatz zur Sprintleistung von der Herzgröße abhängig.

Es besteht somit eine Korrelation zwischen dem relativen Herzvolumen und der Leistungsfähigkeit (6, 32, 33, 58, 64, 65, 95, 107, 115, 130, 134), die durch unsere Ergebnisse bestätigt wird (siehe Tab. 12, 13 und Abb. 7).

Die Herzvolumenbestimmung bei verschiedenen Sportgruppen zeigt in Übereinstimmung mit anderen Arbeiten (48, 57, 60, 85, 102, 104, 107, 121), daß die Veränderungen, die das Herz durch langjähriges intensives Sporttraining erfährt, Ergebnis einer organischen Anpassung an das spezielle Training der ausgeübten Sportart sind und in hohem Maße von diesem abhängen.

Zusammengestellt nach der Größe der relativen und absoluten Herzvolumina ergibt sich für den Einfluß verschiedener Sportarten auf die Herzgröße folgende, grob Richtung gebende Einteilung:

- **S t a r k e** Herzvergrößerung:

Die stärksten Größenzunahme erfährt das Herz bei Sportarten, die mit anstrengenden Ausdauerleistungen verbunden sind (Langstrecke, Rudern, Radfahren, Schwimmen). Demnach kann das Volumen des gesunden Herzens als Maß für die Kapazität an Dauerleistung gewertet werden.

- **M ä ß i g e** bis **s t a r k e** Herzvergrößerung:

In dieser Gruppe sind Sportarten vertreten, die neben dem Ausdauertraining vor allem ein Kraft- und Intervalltraining betreiben (Mittelstreckenläufer, Boxer, Fußballer).

- G e r i n g e bis m ä ß i g e Herzvergrößerung:
Sie wird bei Herzen gefunden, die im Wettkampf und beim Training nur geringen oder nicht langdauernden Belastungen ausgesetzt sind (Sprinter, Stabhochspringer). Die Übung der Schnellkraft steht bei diesen Sportarten neben dem Intervalltraining im Vordergrund und führt als ständiger Bewegungsreiz in erster Linie zu Hypertrophie der trainierten Skelettmuskulatur (Judo-Kämpfer, Ringer) und erst zweitrangig zu einer Anpassung des Herzkreislaufsystems.
- K e i n e bis g e r i n g e Herzvergrößerung:
Sie ist bei den Sportlern festzustellen, die vor allem bestimmte Bewegungsabläufe (Koordination) üben, besonders ein statisches Training durchführen oder weniger körperlich trainiert sind (Fechter, Turner, Schützen).

In Tab. 12 sind die einzelnen Sportarten nach ihrer vergrößernden Wirkung auf das Herz eingeordnet. PROKOP und SLAPAK (104) haben, wie auch MELLEROWICZ (85) Herzgrößenveränderungen bei verschiedenen Sportarten zusammengestellt und sind zu ähnlichen Ergebnissen gekommen.

1.2. Funktionelle Veränderungen beim Sportherzen verschiedenartig Trainierter:

Das vergrößerte Herz des Sportlers weicht nicht nur morphologisch, sondern auch in seiner Arbeitsweise vom Herzen des Untrainierten ab. Dabei stellt sich die Frage, welchen Einfluß das absolute bzw. relative

Herzvolumen auf die funktionellen Abweichungen des Sportherzens hat.

Das konstitutionell große Herz (z.B. eines schweren Gewichtsherbers) hat, im Gegensatz zu einem ausgeprägten Sportherzen (z.B. eines Marathonläufers), eine relativ große Körpermasse zu versorgen und sicher bestehen zwischen diesen beiden Formen des grossen Herzens Unterschiede in ihrem funktionellen Verhalten.

Bevor auf dieses Problem eingegangen werden kann, muß erwähnt werden, daß auch bei untrainierten Personen funktionelle Unterschiede bestehen zwischen großen und kleinen Herzen. Kardiales Leistungsvermögen und Herzgröße sind bereits beim Untrainierten durch das Grundfrequenzgesetz (Abnahme der Herzfrequenz bei steigendem Körpergewicht während der Körperentwicklung) positiv korreliert; das große Herz kann nämlich gegenüber dem kleinen ein höheres Schlag- und Minutenvolumen unter Belastung erreichen.

Die Fähigkeit zur Steigerung des S c h l a g- und Z e i t v o l u m e n s bei Belastung ist also vor allem an das a b s o l u t e Herzvolumen gebunden. Die D a u e r l e i s t u n g s f ä h i g k e i t des Herz- Kreislaufsystems dagegen ist vor allem vom r e l a t i v e n Herzvolumen abhängig, wie unsere Ergebnisse zeigen.

Beim Sportherzen ist deshalb das relative Volumen für die Abweichungen des funktionellen Verhaltens unter Ruhebedingungen bestimmend, das absolute Herzvolumen kaum maßgeblich.

1.2a Herzfrequenz:

Als Zeichen der Anpassung des trainierten Herz- und Kreislaufsystems an die erhöhte Leistungsanforderung ist die V e r m i n d e r u n g der Schlagfrequenz des Sportherzens in Ruhe am längsten bekannt (16, 50, 55, 57, 60, 65, 81, 82, 88, 102, 107, 111, 122, 127, 131). Diese Feststellung wird auch durch die hier durchgeführten Untersuchungen bestätigt (siehe Tab. 5). Am ausgeprägtesten ist die T r a i n i n g s b r a - d y k a r d i e aller untersuchten Sportler bei den A u s d a u e r t r a i n i e r t e n (z.B. Marathonläufer, Geher). Die Ruhepulsfrequenz dieser Gruppe liegt mit 49,5/min um etwa 30% unter der nicht auf Ausdauer trainierter Personen, obwohl keine Grundumsatzbedingungen eingehalten werden konnten. Da die Herzschlagzahl nach neuesten Untersuchungen durch metabolische Rezeptoren der Muskulatur entsprechend den peripheren Bedürfnissen geregelt wird (56, 71, 128), kann man auf Grund der niedrigen Herzfrequenz bei den Ausdauertrainierten auf eine sehr ökonomische Arbeitsweise des Kreislaufs schließen.

Sportarten, die dagegen nur kurzzeitig den Kreislauf belasten (z.B. Kurzstreckenlauf), wirken wenig oder kaum frequenzmindernd auf das Herz.

Die Beziehungen zwischen der Höhe der Herzfrequenz und den in einzelnen Leistungsgruppen zusammengefaßten Sportarten zeigen, daß aus der Stärke der Bradykardie auf den Trainingsgrad eines Sportlers in etwa geschlossen werden kann.

Die Trainingsbradykardie des Sportherzens kann also unter Ruhebedingungen als Indikator für die T r a i - n i n g s f o r m und die m a x i m a l e L e i s t u n g s - f ä h i g k e i t eines Sportlers gelten, worauf auch

andere Untersuchungsergebnisse hinweisen (55, 57, 64, 83, 87, 102, 107, 111, 124, 131, 133). Doch ist diese Aussage nicht absolut zutreffend, da gerade bei jungen, leistungsfähigen Sportlern (z.B. bei jugendlichen Schwimmern) auch hohe Herzfrequenzen meist im Zusammenhang mit einem verhältnismäßig kleinen Herzen vorkommen können (57, 114, 115).

Bei unseren Untersuchungen ist das relative Herzvolumen frequenzbestimmender als das absolute; die Beziehungen sind dabei nicht allzu eng.

Da ein großes relatives Herzvolumen, ebenso wie die verringerte Herzfrequenz, an der die vagoton-trophotrope Einstellung des trainierten Kreislaufs am leichtesten faßbar ist (55, 57, 83, 86, 88, 107), Ausdruck der Ökonomisierung der Kreislaufregulierung und der Vermehrung der kardialen Reservekräfte sind, ist die negative Korrelation zwischen Herzvolumen und Herzfrequenz nicht verwunderlich, (siehe Tab. 5 und Abb. 8). Diese Beziehung ist am deutlichsten bei den Ausdauertrainierten zu sehen, bei denen das relative Herzvolumen im Mittel nicht unter $17 \text{ cm}^3/\text{kg}$ lag und die Herzfrequenz nur 49,5/min betrug, während bei den Sportlern der Technischen Disziplinen und den Kurzstrecklern die Herzfrequenzen um den unteren Normwert von 60/min schwankten und auch das relative Herzvolumen im Normbereich zwischen 11 und $12 \text{ cm}^3/\text{kg}$ lag.

1.2b Ruhschlagvolumen und Minutenvolumen:

Die Schlagvolumina unserer untersuchten Sportler lassen unter Ruhebedingungen mit Abnahme des Trainingsgrades eine zunehmende Vergrößerung erkennen (siehe

Tab. 6). Dabei liegen die ermittelten Schlag- und Minutenvolumenwerte im Vergleich zu früheren Untersuchungen mit der physikalischen Methode (86, 106, 107) ziemlich hoch.

Für die unterschiedlichen Befunde über die Größe des Schlagvolumens bei Sportlern sind die verschiedenartigen Methoden mit ihren Fehlermöglichkeiten (3, 10, 49, 118, 119, 124) und die unterschiedliche Lagerung der Probanden während der Untersuchung (6, 7, 77, 97, 119) mitverantwortlich zu machen.

Bei den Kurzstreckensportlern ist das Schlagvolumen gegenüber der Norm um etwa 50 % erhöht, und selbst bei den Ausdauertrainierten, für die bisher die niedrigsten Werte bei Sportlern gefunden wurden (46, 57, 86, 122), liegt der Schlagvolumenwert mit $81,14 \text{ cm}^3$ an der obersten Grenze der normalen Schwankungsbreite von 50 bis 80 cm^3 .

Die Schlagvolumina der Sprinter sind bei unserer Untersuchung gut $1 \frac{1}{2}$ mal größer als die der ausdauertrainierten Langstreckenläufer. Auf Grund dieses Ergebnisses wird, trotz der relativ hohen Ruheschlagvolumina aller Sportgruppen, die Gültigkeit der Hypothese bestätigt, daß das Sportherz auf Grund eines erhöhten enddiastolischen Volumens als Sofortdepot (118) fungiert und sich damit an die sportlichen Leistungsanforderungen anpassen kann.

Bei den Kraft-Ausdauertrainierten, die ein um 100 cm^3 größeres Herzvolumen und auf Grund ihres geringen Körpergewichts auch ein hohes relatives Herzvolumen hatten, lag das Schlag-

volumen dagegen um etwa 10 cm^3 niedriger als bei den erstgenannten Sportdisziplinen (siehe Tab. 6).

Sportgruppen mit großen Herzen (Langstrecke, Mittelstrecke, Schwimmen) zeigen dagegen relativ und absolut kleinere Schlagvolumen im Vergleich mit den anderen Gruppen. Eine Ausnahme machen die **Ausdauer-Krafttrainierten**, für die das zweitgrößte Schlagvolumen, aber auch das größte absolute Herzvolumen ermittelt wurde.

Da neben dem Herzvolumen vor allem die Ruhefrequenz Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit eines Sportlers zuläßt, ist eine verhältnismäßig enge Beziehung zwischen dem Schlagvolumen und der trainingsabhängig erniedrigten Herzfrequenz nicht verwunderlich (3, 6, 7, 117). So zeigten die Ergebnisse unserer Untersuchung für die Gruppen mit geringerer Trainingsleistung (Technische Disziplinen, Kurzstrecke) und folglich geringerer Trainingsbradykardie die größten Schlagvolumina, während die Ausdauertrainierten die niedrigste Herzfrequenz und das zur Norm am wenigsten erhöhte Schlagvolumen aller Untersuchten hatten.

Die schon relativ hohen Ruheschlagvolumenwerte der Ausdauertrainierten ($81,14 \text{ cm}^3$) weisen auf eine **Erhöhung** des Schlagvolumens unter sportlichem Training hin (119, 124); andererseits zeigen aber die unterschiedlich großen Schlagvolumina bei den einzelnen Sportgruppen, daß bei ausdauertrainierten Sportlern das Schlagvolumen am wenigsten im Vergleich zur Norm erhöht ist (siehe Tab. 6).

Kommt in der Größe des Schlagvolumens die Anpassung des Herzens an das Volumen des Gefäßsystems zum

Ausdruck, so dürfte die Anpassung des Herzminutenvolumens an den Stoffwechsel eine Regulation erster Ordnung sein. Das Zeitvolumen des Sportherzens muß als die zentrale Kreislaufgröße betrachtet werden, von der die Versorgung der gesamten Kreislaufperipherie abhängt.

Die Herzminutenvolumina der untersuchten Sportler schwankten zwischen 4 und 8 l/min und lagen damit zum Teil über der Norm von 3 bis 5 l/min.

Dagegen wurde bei früheren Untersuchungen eine starke Erniedrigung des Minutenvolumens (bis zu 2,13 l/min z.B. von MELLEROWICZ) bei Sportlern in Ruhe gefunden (16, 46, 47, 57, 60, 86, 95, 104, 107).

Die von uns ermittelten (im Vergleich zur Norm) hohen Ruheminutenvolumina zeigen, bedingt vor allem durch die unterschiedlichen Herzfrequenzen der verschiedenen Leistungsgruppen, einen deutlichen Zusammenhang mit dem Trainingsgrad der einzelnen Sportgruppen (siehe Tab. 7).

Das niedrigste Minutenvolumen (4,0 l/min) wurde bei den Ausdauertrainierten, das höchste (8,48 l/min) bei den Kurzstreckenläufern ermittelt. Die optimale Herz-Kreislaufanpassung der Ausdauertrainierten wird durch einen gegenüber den anderen Gruppen stark erniedrigten Schlagvolumen-Frequenz-quotienten erreicht, der wiederum in umgekehrter Beziehung zum großen relativen Herzvolumen dieser Sportlergruppe steht.

Der Einfluß des Trainingsgrades auf das Herz-Kreislaufsystem wird besonders deutlich im *H e r z i n d e x*, der neben dem Herzminutenvolumen auch die Körperoberfläche berücksichtigt (siehe Tab. 7).

Das Verhalten des Herzindex zeigt, daß, im Gegensatz zu SCHNEIDER (124), der die Erhöhung des Herzminutenvolumens als Folge der vergrößerten Oberfläche des Sportlers bewertet, die Kurzstreckler, die in etwa die gleiche Körperoberfläche wie die Ausdauertrainierten haben (siehe Tab. 3), ein doppelt so großes Herzminutenvolumen (8,48 l/min) aufweisen wie die Gruppe der Ausdauersportler (4,0 l/min).

Die *H e r z i n d i c e s* unserer Sportgruppen lagen im Normbereich von 2,5 bis 4,5 l/min/ m²; nur die Ausdauertrainierten hatten wegen ihres relativ am wenigsten erhöhten Herzminutenvolumens einen Wert knapp unterhalb der unteren Normgrenze (siehe Tab. 7).

1.2c Herzarbeit und Herzleistung:

Trotz der hohen Schlag- und Minutenvolumenwerte zeigen die Ergebnisse für die Herzarbeit, besonders aber die Herzleistung, die ökonomische Arbeit des Sportherzens (siehe Tab. 8).

Sehr fest sind dabei die Beziehungen zwischen der Herzarbeit und in noch höherem Maße der Herzleistung mit dem relativen, aber auch absoluten Herzvolumen der verschiedenen Sportgruppen. Die ausgeprägtesten

Sportherzen (A u s d a u e r t r a i n i e r t e) haben als Ausdruck der großen Ökonomie des Herzens unter Ruhebedingungen die eindeutig n i e d r i g - s t e n Werte für die Herzarbeit. Gegenüber der Norm (10 000 bis 12 000 ml . cm) liegt der Mittelwert für ihre Herzarbeit um etwa 30 % niedriger.

ISRAEL (57) kommt in seinen Untersuchungen für Ausdauertrainierte zu dem gleichen Ergebnis und MELLEROWICZ (86) hat für die Herzarbeit gut trainierter Sportler unter Ruhebedingungen im Laufe eines Tages eine Verminderung um mehr als 50 % ermittelt.

Infolge der, vor allem bei den Ausdauertrainierten, verlängerten Pulsperiodendauer (12, 76, 104, 108) ist die H e r z l e i s t u n g in Ruhe noch stärker v e r m i n d e r t als die Herzarbeit. Die Herzen der auf Ausdauer trainierten Sportler leisten gegenüber untrainierten Normalherzen rund 50 % weniger (siehe Abb. 10).

In der verringerten Herzarbeit und Herzleistung zeigt sich einmal mehr, daß der Kreislauf des Hochtrainierten im " Schongang " (57, 104, 107) arbeitet. Die funktionellen Verhältnisse des Sportherzens sind bei ansteigendem Herzvolumen vor allem durch eine verstärkte Abnahme des Arbeits- und Leistungsniveaus gekennzeichnet. Größtenteils sind diese Auswirkungen eines regelmäßigen Trainings auf Herz und Kreislauf mit einem Überwiegen des parasympathischen Anteils des vegetativen Nervensystems zu erklären. Diese vegetative Umstellung des Herz- Kreislaufsystems ist in hohem Maße vom Training abhängig.

Unsere Ergebnisse zeigen nämlich, daß bei Sportarten mit überwiegender Kurzzeitbelastung die Ökonomisierung der Druck- Volumenarbeit des Herzens im Vergleich zur Norm nur gering ausgeprägt ist. Am deutlichsten kommt dies in der bei diesen Gruppen (Technische Disziplinen, Kurzstrecke) gegenüber der Herzarbeit erhöhten Herzleistung zum Ausdruck, obwohl die Werte beider Größen immer noch im unteren Bereich der Norm liegen (siehe Tab. 8).

Die unterschiedlich starke Veränderung der Arbeitsweise des Herzens bei den verschiedenen Sportgruppen in Ruhe kann als Ausdruck des herrschenden Rationalisierungsprinzips der Herz- Kreislaufdynamik in Abhängigkeit vom Trainingszustand betrachtet werden. Dabei bestehen kurz zusammengefaßt folgende Beziehungen:

- Die stärksten Auswirkungen auf die Arbeitsweise des Herzens haben Sportarten, die im Training und im Wettkampf Dauerleistungen erfordern (z.B. Rudern, Langstreckenlauf).
- Die regulativen Trainingsveränderungen bei Sportarten mit keinen besonderen, oder nur kurz dauernden Beanspruchungen sind dagegen, verglichen mit der Norm, nur gering oder kaum feststellbar (z.B. Turnen, Kurzstreckenlauf).
- Zwischen diesen beiden Extremen kann je nach der Art des ausgeübten Sports und seinem speziellen Training der ökonomisierende Einfluß auf die Herzdynamik in seiner Größe unterschieden werden.

2. Kreislaufdynamik:

Sportliches Training führt nicht nur zu einer veränderten Arbeitsweise des Herzens (Herzdynamik), sondern, als Voraussetzung für jede Leistungssteigerung, auch zu einer regulativen Umstellung des peripheren Kreislaufs (9, 26, 27, 50, 55, 63, 72, 83, 86, 91, 99, 107, 109, 113, 126).

2.1 Peripherer Gefäßwiderstand:

Die Anpassungserscheinungen des peripheren Kreislaufs auf ein sportliches Training hin werden unter Ruhebedingungen in einem beträchtlichen Anstieg des peripheren Widerstandes am deutlichsten. Diese Erhöhung verhält sich annähernd proportional dem Trainingszustand der verschiedenen Sportgruppen (siehe Tab. 10).

Nimmt man als Normwert für den peripheren Widerstand 700 Einheiten (12, 13, 80, 109), so ergibt sich für die Gruppe der Ausdauertrainierten eine Widerstandserhöhung um fast das Dreifache, während bei den Kurzstrecklern der Wert nur wenig über der Norm liegt.

Allerdings werden als Norm auch Werte von 1170 (23) und sogar von 1400 Einheiten (57) angegeben. Immerhin ist auch dann noch in Übereinstimmung mit anderen Untersuchern (26, 37, 46, 47, 86, 91, 104, 107, 110, 111) bei Sportlern in Ruhe eine Erhöhung des arteriellen Gefäßwiderstandes proportional zum Trainingsgrad festzustellen.

Im Verhalten des peripheren Widerstandes kommt die Spareinstellung der Kreislaufperipherie zur Geltung,

die der zentralen Regulation der Herzfunktion untergeordnet ist (126). Der Anstieg des Widerstandes ist durch die Verengung der peripheren Gefäße bedingt und kann als Folge einer erniedrigten Schwelle für den Sympathikustonus durch eine herabgesetzte Stoffwechselaktivität in der Muskulatur, aber auch im gesamten Körper beim guttrainierten Sportler angesehen werden.

Auf den Synergismus der beiden vegetativen Nervensysteme mit Überwiegen des P a r a s y m p a t h i k u s auf die H e r z f u n k t i o n und des S y m p a t h i k u s auf den peripheren K r e i s - l a u f haben auch andere Untersucher hingewiesen (27, 52, 57, 83, 86, 91, 100, 101, 104, 109, 111, 122). Erst durch dieses Zusammenwirken ist eine optimale Kreislauffunktion als Voraussetzung für sportliche Höchstleistung möglich.

Die engen Beziehungen zwischen der Herzfrequenz, dem Schlagvolumen und dem peripheren Widerstand deuten darauf hin, daß durch die Engstellung der Gefäße in Abhängigkeit von der Größe des Minutenvolumens unter Ruhebedingungen ein zu starkes Absinken des systolischen Blutdrucks (35) bei ausdauertrainierten Sportlern verhindert wird.

Die starke E r h ö h u n g des Widerstandes ist beim Sportler unter Ruhebedingungen nur durch die ö k o n o m i s c h e Stoffwechseleinstellung des trainierten Körpers möglich. Dafür sprechen auch die bei anderen Untersuchungen gefundene Verminderung der muskulären Durchströmung (46, 57, 60, 86, 103, 107, 126) und die Erhöhung der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz (71, 89, 136) durch bessere Sauerstoffaufnahme und -Ausnutzung (107).

2.2 Blutdruck:

Auch die Blutdruckwerte, die für die einzelnen Sportgruppen unter Ruhebedingungen ermittelt wurden, lassen eine Abhängigkeit vom Trainingsgrad erkennen (siehe Tab. 9).

Bemerkenswert ist die positive Korrelation zwischen dem systolischen Blutdruck und dem absoluten Herzvolumen, sowie der Herzfrequenz. Je größer das Herz eines Sportlers ist (z.B. Ruderer, Schwimmer), oder je höher die Schlagfrequenz (z.B. Sprinter), desto größer ist auch der systolische Blutdruckwert.

Die s y s t o l i s c h e n Werte schwanken bei unseren Untersuchungen zwischen 120 bis 133 mmHg und liegen damit im oberen Normbereich. Die d i a s t o l i s c h e n Blutdruckwerte verlassen ebenfalls nicht den für Untrainierte ermittelten Normbereich; mit 76 mmHg liegen sie etwas unter dem Idealwert von 80 mmHg (siehe Tab. 9).

Von anderen Untersuchern wurden für Sportler bisher meist gegenüber der Norm erniedrigte Werte für den systolischen und erhöhte für den diastolischen Blutdruck in Ruhe gefunden (1, 28, 31, 46, 57, 86, 104, 110, 111, 116, 121, 123). Es liegen jedoch auch Untersuchungsergebnisse vor, in denen Schwankungen des systolischen als auch diastolischen Blutdrucks innerhalb des Normbereichs nach oben oder unten gefunden wurden (8, 46, 63, 119).

Die bei unseren Untersuchungen ermittelten und im Gegensatz zu anderen Ergebnissen hohen systolischen und leicht erniedrigten diastolischen Blutdruckwerte

werden auch in den hohen Blutdruckamplituden der einzelnen Sportgruppen deutlich (siehe Tab. 9).

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen, wo für Sportler meist verkleinerte Blutdruckamplituden gefunden wurden (8, 50, 57, 63, 73, 86, 107, 110, 119), waren die Blutdruckamplituden bei unseren Sportlern nicht verkleinert. Mit einem mittleren Wert von 51,81 mmHg lagen sie sogar leicht oberhalb des Normbereichs (30 bis 50 mmHg).

Die h o h e Blutdruckamplitude, vor allem durch einen hohen systolischen und nur wenig erniedrigten diastolischen Blutdruck bedingt, ist vor allem durch die von uns gefundenen hohen Schlag- und Minutenvolumina zu erklären.

Tatsächlich findet man zwischen der Höhe der Blutdruckamplitude und der Größe des Schlag- und Minutenvolumens bei den einzelnen Sportgruppen eine recht enge, positive Beziehung (siehe Abb. 9). Auch andere Untersucher haben diese feste Korrelation beschrieben (1, 8, 37, 57).

Die Höhe der Blutdruckamplitude hat im Herz- Kreislaufsystem einen Regeleffekt: Je größer bei gleichem arteriellen Mitteldruck die Amplitude ist, umso stärker wird der Sympathikustonus von den Blutdruckfühlern herabgesetzt (126). Unsere Ergebnisse bestätigen diese Aussage:

Bei allen untersuchten Sportgruppen liegt der m i t t l e r e arterielle Druck etwa um 100 mmHg (siehe Tab. 9). Er wird also, unabhängig vom Trainingszustand, möglichst konstant gehalten. Dies gelingt

z.B. bei der Gruppe der K u r z s t r e c k e n - s p o r t l e r , welche die höchste Blutdruckamplitude aller Sportgruppen hat, nur durch eine deutliche Herabsetzung des Sympathikustonus, ersichtlich aus dem im Verhältnis zu anderen Gruppen stark erniedrigten peripheren Widerstand.

Andererseits findet man bei den A u s d a u e r - t r a i n i e r t e n in Ruhe die kleinste Blutdruckamplitude, aber auch den größten peripheren Gefäßwiderstand.

Diese Beziehung zwischen dem peripheren Widerstand und der Höhe der Blutdruckamplitude ist durchaus verständlich; denn je höher der Widerstand der peripheren Gefäße ist, desto langsamer erfolgt der Druckabfall im Gefäßsystem (kleine Amplitude).

Neben dem peripheren Widerstand spielt jedoch die Ruhefrequenz des Herzens auch noch eine entscheidende, aber entgegengesetzte Rolle für die Größe der Blutdruckamplitude.

Je n i e d r i g e r nämlich die F r e q u e n z eines Sportherzens in Ruhe ist, desto länger ist die Zeit für den Blutdruckabfall, d.h. u m s o g r ö ß e r ist die B l u t d r u c k a m p l i t u d e .

Die Herzfrequenz nimmt aber auch entscheidenden Einfluß auf das Herzminutenvolumen, das bei den besonders gut Trainierten im Verhältnis zu den Sportlern relativ niedrig ist.

Der Kreis der Regulation wird nun dadurch geschlossen, daß die negative Blutdruckwirksamkeit des relativ kleinen Herzminutenvolumens durch eine deutliche

Erhöhung des peripheren Gesamtwiderstandes kompensiert wird. Dies ist am deutlichsten bei der Gruppe der ausdauertrainierten Langstreckenläufer festzustellen (siehe Abb. 10).

2.3 Pulswellengeschwindigkeit:

Eine andere Kreislaufgröße, die einer gegenseitigen Beeinflussung unterliegt, ist die zentrale Pulswellengeschwindigkeit.

Diese Größe der Kreislaufdynamik, die, wie der periphere Widerstand, den Zustand der elastischen Gefäßanteile charakterisiert, bewegt sich bei allen untersuchten Sportgruppen im physiologischen Normbereich von 4 bis 6 m/sec (siehe Tab. 11).

Auch REINDELL (107) und HEINECKER (50) fanden bei Sportlern für die Pulswellengeschwindigkeit unter Ruhebedingungen Normalwerte, andere Autoren eine Verminderung (46) oder Beschleunigung (57, 86, 107) der Pulswellengeschwindigkeit.

Auch unsere Ergebnisse lassen keine eindeutige Beziehung zwischen dem Trainingsgrad und der Geschwindigkeit der Pulswelle erkennen; es deutet sich jedoch mit zunehmendem Training eine Erhöhung der Pulswellengeschwindigkeit an, was auch von ISRAEL (57) und MELLEROWICZ (86) beschrieben wird. Wir ermittelten bei den Technischen Disziplinen einen Wert von 4,84 m/sec, während die Pulswellengeschwindigkeit bei den Lang- und Mittelstreckenläufern um etwa 20 % höher lag.

Eine positive Korrelierung der Pulswellengeschwindigkeit mit dem Herzvolumen können wir nicht feststellen; ebenso nimmt die Pulswellengeschwindigkeit nicht mit steigendem mittleren Arteriendruck zu, der die Dehnbarkeit der Gefäße ebenfalls beeinflusst. Jedoch läßt sich eine recht enge positive Korrelation zwischen der Pulswellengeschwindigkeit und der Höhe des peripheren Gefäßwiderstandes herleiten, sowie eine negative Korrelation zur Größe des Herzzeitvolumens.

Da der periphere Widerstand ein Bild über das Verhalten der muskulären Gefäße gibt, aber auch über die Spannungsverhältnisse im elastischen Gefäßsystem, überrascht der positive Zusammenhang mit der Geschwindigkeit der Pulswelle kaum.

So ist z.B. bei der Gruppe der *M i t t e l - s t r e c k e n l ä u f e r*, für die der zweithöchste periphere Widerstand in Ruhe bestimmt wurde, die Pulswellengeschwindigkeit am höchsten (siehe Tab. 10 und 11).

Andererseits darf aus der negativen Beziehung zwischen der Pulswellengeschwindigkeit und dem Herzzeitvolumen bei Sportlern in Ruhe (je größer die Pulswellengeschwindigkeit, desto kleiner das Minutenvolumen) auf eine Steigerung der Windkesselfunktion geschlossen werden. Bei der ausgeprägten Bradykardie des Sportherzens und dem relativ niederen Minutenvolumen besonders der auf Ausdauerleistung Trainierten, erscheint diese Veränderung am Kreislaufsystem doch sinnvoll, da dadurch der Blutabstrom und damit der Druckabfall verzögert wird. So wird eine ökonomische Blutversorgung des Körpers beim Sportler gewährleistet.

Betrachtet man die einzelnen Kreislaufgrößen in ihrem Zusammenwirken, so zeigt sich im Verhalten einer jeden Größe und in der Gesamtheit immer wieder die Anpassung an die sportliche Leistung, die in ihrem Ausmaß vom Training bestimmt wird, wie die Ergebnisse der Ausdauertrainierten deutlich zeigen (siehe Abb. 10).

E. ZUSAMMENFASSUNG

An 113 männlichen Teilnehmern der Olympischen Spiele in München wurden herz- und kreislaufdynamische Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluß verschiedener Sport- und Trainingsarten auf einzelne Herz- und Kreislaufgrößen nach ihrem Ausmaß zu bestimmen.

Nach den Ergebnissen lassen sich folgende Anpassungserscheinungen des Herz- und Kreislaufsystems in Abhängigkeit von der Art, Dauer und Intensität des Trainings feststellen:

1. Geringe Trainingsbelastung führt lediglich zu einer vegetativen Umstellung in Richtung einer zunehmenden Vagotonie.
2. Proportional zur Zunahme der Intensität und Dauer des Trainings ist eine starke Vergrößerung des Herzens im Verhältnis zum Körpergewicht festzustellen.
3. Vor allem intensives Ausdauertraining bewirkt, im Gegensatz zu kurzzeitiger oder geringer körperlicher Aktivität, eine starke Senkung der Herzfrequenz in Ruhe und eine damit verbundene erhöhte Ökonomisierung der Herzarbeit.
4. Mit oder ohne Herzvergrößerung sind Herzarbeit und vor allem Herzleistung in Abhängigkeit vom Trainingsgrad und der Leistungsfähigkeit eines Sportlers in Ruhe erniedrigt. In der wesentlichen Verminderung der

Herzarbeit und, in noch stärkerem Maße, der Herzleistung in Ruhe finden die Auswirkungen verschiedenartigen Trainings auf den Kreislauf einen klar faßbaren quantitativen Ausdruck.

5. Die Schlag- und Minutenvolumina sind gegenüber den Normalwerten für die physikalische Methode erheblich erhöht, im Gegensatz zu manchen älteren und in Übereinstimmung mit neueren Angaben, nach denen bei Sportlern, auch unter Ruhebedingungen, erhöhte Werte zu finden sind. Die Minutenvolumina liegen jedoch, in Abhängigkeit von der Trainingsleistung, bei den Ausdauertrainierten noch innerhalb der Norm und sind relativ am wenigsten erhöht. Eine Beziehung zum absoluten Herzvolumen ist nicht gesichert.
6. Der Ruheblutdruck ist bei den untersuchten Sportlern systolisch erhöht, diastolisch leicht verringert und die arterielle Blutdruckamplitude deshalb, im Gegensatz zu anderen Angaben, teils erheblich erhöht. Dies ist vor allem durch die hohen Schlagvolumenwerte bedingt. Die Blutdruckamplitude hat bei den Sportlern in Ruhe einen umso größeren Wert, je niedriger die Herzfrequenz und je kleiner der periphere Widerstand sind.
7. Die Werte des peripheren Strömungswiderstandes im arteriellen Gefäßsystem sind bei Trainierten als Zeichen der Gegenregulation gegenüber einer erniedrigten Herzfrequenz und einem relativ geringen Herzminutenvolumen im Durchschnitt rund doppelt so hoch wie bei der Normalbevölkerung. Bei den Ausdauertrainierten ist der periphere Widerstand am stärksten erhöht.

8. Die Pulswellengeschwindigkeit liegt für alle untersuchten Sportler innerhalb der Norm. Bei Verschlechterung des Trainingsgrades deutet sich mit Verkleinerung des peripheren Widerstandes und Erhöhung des Herzminutenvolumens eine Abnahme der Geschwindigkeit an.
9. Betrachtet man die Wirkungen der verschiedenen Sportarten und der damit verbundenen Trainingsformen, welche in ihrem Ausmaß in den einzelnen Herz- und Kreislaufparametern zum Ausdruck kommen, so ergibt sich, angefangen mit den bedeutendsten Sportarten für das Herz- Kreislaufsystem, insgesamt betrachtet, diese Reihenfolge:
 - Ausdauersportarten
 - Mittelstreckenlauf
 - Kraft- Ausdauersportarten und Schwimmen
 - Ausdauer- Kraftsportarten und Mannschaftssport
 - Technische Sportdisziplinen
 - Kurzstreckenlauf.

F. A N H A N G

1. Tabellen:

1		Seite 74/75
2		" 76
3		" 77
4		" 78
5		" 79
6		" 80
7		" 81
8		" 82
9		" 83
10		" 84
11		" 85
12		" 86
13		" 87

2. Abbildungen:

1		" 88/89
2		" 90
3		" 91
4		" 92
5		" 93
6		" 94
7		" 95
8		" 96
9		" 97
10		" 98
11		" 99

5. Beiblätter:

1		" 100/ 101
2		" 102

Tabelle 1

übersicht über die zur Berechnung der Herz- und Kreislaufgrößen verwendeten Formeln mit Angabe der normalen Variationsbreite mit Dimensionen und Erklärung der im Text, den Tabellen und Abbildungen benutzten Abkürzungen.

1. Herzdynamik:

Abk.	Formeln und Erläuterungen	Dimension	Normbereich
A	Anspannungszeit $A = (A+S) - S$	msec	70 bis 105
S	Absolute Austreibungszeit	msec	200 bis 300
A+S	Gesamtsystole (Anspannungs-und Austr. Zeit)	msec	
D	Diastolendauer	msec	
T	Pulsperiodendauer (Systole, Diastole) $T = (A+S) + D$		
Q	Aortenquerschnitt (n. Diagramm von SUTER, modifiziert von FRUCHT)	cm ²	
p	Dichte des Blutes (Viskositätskonstante)	g/cm ³	1,06
VS	Schlagvolumen (n. BROEMSER-RANKE) $VS = \frac{1,33 \cdot Q \cdot (PS-PD) \cdot S \cdot T}{2 \cdot p \cdot c \cdot (D+A)} \cdot 10^{-2}$	cm ³	50 bis 80
VM	Herzminutenvolumen $VM = VS \cdot F \cdot 10^{-3}$	l/min	3,0 bis 5,0
F	Frequenz (Herzschlagzahl/min) $F = \frac{60}{T} \cdot 10^3$	min ⁻¹	60 bis 80
HA	Herzarbeit $HA = VS \cdot PM$	ml · cm	10000 bis 12000
HL	Herzleistung $HL = \frac{HA}{T} \cdot 10^3$	ml · cm/sec	12000 bis 14000

Tabelle 1 (Fortsetzung)

2. Kreislaufdynamik:

Abk.	Formeln und Erläuterungen	Dimension	Normbereich
PS	Systolischer Blutdruck (nach RIVA-ROCCI)	mmHg	100 bis 130
PD	Diastolischer Blutdruck	mmHg	60 bis 90
PM	Mittlerer Blutdruck $PM = PD + 0,43 \cdot (PS - PD)$ (0,43 = Konstante)	mmHg	100
PS- PD	Blutdruckamplitude	mmHg	30 bis 50
DS	Pulsweg (Entfernung d. Pulsabnahmestellen)	cm	
DT	Pulslaufzeit (Pulswellenverspätung)	msec	
c	Pulswellengeschwindigkeit $c = \frac{DS}{DT} \cdot 10$	m/sec	4 bis 6
W	Peripherer Gesamtströmungswiderstand (BROEMSER-RANKE) $W = 1,33 \cdot PM \cdot \frac{T}{VS}$	dyn·sec/cm ⁵	700

Der in mehreren Formeln enthaltene Faktor 1,33 beruht auf der Umrechnung der Blutdruckwerte von mmHg in cm H₂O (Spezifisches Gewicht Hg (13,6) mal Erdbeschleunigung (0,981) ergibt 1,33).

Die Zehnerpotenzen treten durch Umrechnung in andere Dimensionen auf.

Tabelle 2

Übersicht über sämtliche untersuchten Sportler und ihre Aufgliederung in die verschiedenen Leistungsgruppen.

Insgesamt: 113 männliche Sportler.

Ausdauersport

(n = 17)

- 7 Marathonläufer
- 1 20 km- Geher
- 4 10 000 m- Läufer
- 3 5 000 m- Läufer
- 2 3 000 m-Hindernisläufer

Technische Disziplinen

(n = 13)

- 6 Turner
- 4 Fechter
- 2 Schützen
- 1 Kugelstoßer

Mittelstrecke

(n = 5)

- 1 400 m - Läufer
- 3 1 500 m- Läufer
- 1 Moderner Fünfkämpfer

Schwimmen

(n = 8)

- 5 100 m- Schwimmer
- 1 200 m- Schwimmer
- 2 400 m- Schwimmer

Kurzstrecke

(n = 7)

- 4 100 m-Läufer
- 1 Weitspringer
- 1 Stabhochspringer
- 1 Drei-Springer

Kraft-Ausdauersport

(n = 27)

- 21 Boxer
- 2 Judo-Kämpfer
- 3 Freistil-Ringer
- 1 Griech.-Röm.-Ringer

Mannschaftssport

(n = 19)

- 6 Wasserballspieler
- 11 Fußballspieler
- 1 Handballspieler
- 1 Hockey-Spieler

Ausdauer-Kraftsport

(n = 17)

- 8 Ruderer
- 7 Radrennfahrer
- 2 Kanadier-Kanuten

Tabelle 3

Mittelwerte für Alter, Größe, Gewicht und Körperoberfläche der verschiedenen untersuchten Sportgruppen.

Gruppe	Alter (J)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperoberfläche (m ²)
Ausdauer-Kraftsport (n = 17)	23,3	187,3	82,9	2,10
Schwimmen (n = 8)	19,4	181,2	76,8	1,98
Technische Diszipl. (n = 13)	25,7	174,9	76,2	1,92
Mannschaftssport (n = 19)	26,3	177,0	74,5	1,92
Mittelstrecke (n = 5)	23,2	179,2	71,4	1,91
Kurzstrecke (n = 7)	21,0	176,7	69,3	1,88
Kraft-Ausdauersport (n = 27)	25,8	171,4	69,9	1,83
Ausdauersport (n = 17)	27,7	172,5	60,8	1,74
=====				
Insgesamt (n = 115)	24,0	176,7	72,5	1,90

Die Körperoberfläche wurde nach DUBOIS (34) aus der Körpergröße und dem Körpergewicht ermittelt (siehe Abb. 11).

Die Formel zur genauen Berechnung lautet:

Körperoberfläche = Körpergewicht^{0,425}.

Körpergröße^{0,725} · 71,84.

Tabelle 4

Zusammenstellung des mittleren Körpergewichts, der Variationsbreite und des mittleren absoluten, sowie relativen Herzvolumens der untersuchten Sportler. Die verschiedenen Gruppen sind nach der Größe des absoluten Herzvolumens in Ruhe geordnet.

Gruppe	Gew. (kg)	Absol. Herzvolumen (cm ³)		Relat. Herzvolumen (cm ³ / kg)
		Variation	$\bar{x}$	
Techn. Disziplinen (n = 11)	71,3	670 bis 1180	849,0	11,91
Kurzstrecke (n = 5)	71,0	745 bis 1003	906,6	12,77
Mannschaftssport (n = 12)	71,3	734 bis 1182	922,0	12,94
Kraft-Ausdauersport (n = 18)	66,1	712 bis 1408	974,8	14,75
Ausdauersport (n = 12)	60,0	777 bis 1246	1022,3	17,0
Mittelstrecke (n = 2)	74,5	1104 bis 1113	1108,5	14,85
Schwimmen (n = 5)	78,4	1023 bis 1317	1231,6	15,7
Ausdauer-Kraftsport (n = 10)	86,0	1043 bis 1698	1272,2	14,79
=====				
<u>Normwert:</u>		700 bis 800		11 bis 12

Tabelle 2

Mittlere Ruheherzfrequenz ($\bar{x}$) mit Standardabweichung (s) im Vergleich zu den relativen Herzvolumina bei den verschiedenen Sportgruppen, geordnet nach abnehmenden Herzfrequenzen.

Gruppe	Herzfrequenz (min^{-1})		relativ. Herzvolumen (cm^3 / kg)
	$\bar{x}$	s	
Kurzstrecke ($n = 7$)	63,48	7,14	12,77
Techn. Disziplinen ($n = 13$)	61,07	12,86	11,91
Schwimmen ($n = 8$)	59,85	12,86	15,7
Ausdauer-Kraftsport ($n = 17$)	59,32	10,9	14,79
Mittelstrecke ($n = 5$)	59,14	10,36	14,85
Mannschaftssport ($n = 19$)	57,22	7,89	12,94
Kraft-Ausdauersport ($n = 27$)	56,56	10,58	14,75
Ausdauersport ($n = 17$)	49,50	6,83	17,0
=====			
Insgesamt ($n = 113$)	57,52	10,43	14,34
<u>Normwert:</u>	60 bis 80		11 bis 12

Tabelle 6

Mittelwerte ($\bar{x}$) des Schlagvolumens (VS) mit Standardabweichung (s) bei den verschiedenen untersuchten Sportgruppen in Ruhe.

Gruppe	$\bar{x}$	s	Meßgröße
Kurzstrecke (n = 7)	132,71	35,58	VS (cm ³)
Ausdauer-Kraftsport (n = 17)	116,10	32,06	"
Techn. Disziplinen (n = 13)	104,82	20,57	"
Mannschaftssport (n = 19)	110,22	31,37	"
Schwimmen (n = 8)	96,05	38,17	"
Kraft-Ausdauersport (n = 27)	94,21	35,95	"
Mittelstrecke (n = 5)	87,18	31,08	"
Ausdauersport (n = 17)	81,14	19,55	"
=====			
Insgesamt (n = 113)	101,65	33,06	VS
<u>Normwert:</u>	50 bis 80		

Tabelle 7

Mittelwerte ($\bar{x}$) des Ruheminutenvolumens (VM) mit Standardabweichung (s) bei den verschiedenen untersuchten Sportgruppen, geordnet nach der Größe des Herzindex (Minutenvolumen / Körperoberfläche).

Gruppe	VM (l / min)		VM/Körperoberfläche (l / min / m ²)
	$\bar{x}$	s	
Kurzstrecke (n = 7)	8,48	2,64	4,51
Techn.Disziplinen (n = 13)	6,42	2,06	3,34
Mannschaftssport (n = 19)	6,33	2,07	3,30
Ausdauer-Kraftsport (n = 17)	6,88	2,31	3,28
Kraft-Ausdauersport (n = 27)	5,29	2,18	2,99
Schwimmen (n = 8)	5,66	2,29	2,86
Mittelstrecke (n = 5)	5,10	2,04	2,67
Ausdauersport (n = 17)	4,0	1,09	2,30
=====			
Insgesamt (n = 113)	5,86	2,31	3,08
<u>Normwert:</u>	3 bis 5		2,5 bis 4,5

Tabelle 8

Mittelwerte ($\bar{x}$) der Herzarbeit (HA) und der Herzleistung (HL) mit Standardabweichung (s) bei den verschiedenen untersuchten Sportgruppen unter Ruhebedingungen, geordnet nach der Herzleistung.

Gruppe	$\bar{x}$	s	Meßgröße
Kurzstrecke	12 156,34	3 642,70	HA (ml · cm)
(n = 7)	12 935,54	4 277,19	HL (ml · cm/sec)
Ausdauer-Kraftsport	11 060,25	3 416,29	HA
(n = 17)	11 539,78	4 094,30	HL
Techn.Disziplinen	10 607,42	3 201,86	HA
(n = 13)	11 013,00	5 222,11	HL
Mannschaftssport	11 173,32	4 404,93	HA
(n = 19)	10 658,08	4 328,83	HL
Schwimmen	9 727,56	3 553,09	HA
(n = 8)	9 523,04	3 496,38	HL
Mittelstrecke	9 039,06	3 314,47	HA
(n = 5)	8 864,01	3 759,65	HL
Kraft-Ausdauersport	9 258,53	4 159,05	HA
(n = 27)	8 699,09	4 140,36	HL
Ausdauer-sport	7 699,34	1 711,24	HA
(n = 17)	6 341,21	1 614,71	HL
=====			
Insgesamt	10 065,43	3 764,80	HA
(n = 113)	9 695,38	4 294,21	HL
<u>Normwert:</u>	10 000 bis 12 000		HA
	12 000 bis 14 000		HL

Tabelle 9

Mittelwerte ($\bar{x}$) mit Standardabweichungen (s) des systolischen (PS), diastolischen (PD) und mittleren Blutdrucks (PM), geordnet nach der Größe der Blutdruckamplitude (PS - PD) bei den untersuchten Sportgruppen in Ruhe.

Gruppe	PS-PD (mmHg)	$\bar{x}$	s	Meßgröße
Kurzstrecke (n = 7)	69,28	130,71 61,43 91,22	13,05 8,52 6,95	PS (mmHg) PD (mmHg) PM (mmHg)
Mannschaftssport (n = 19)	56,58	131,32 74,74 99,07	18,25 8,41 11,71	PS PD PM
Ausdauer-Kraftsport (n = 17)	55,29	131,76 76,47 100,25	11,45 9,48 6,89	PS PD PM
Schwimmen (n = 8)	53,12	132,50 79,38 102,22	8,86 10,16 4,57	PS PD PM
Mittelstrecke (n = 5)	51,00	133,00 82,00 103,93	12,04 12,55 9,30	PS PD PM
Techn.Disziplinen (n = 13)	50,38	129,23 78,85 100,51	19,02 12,10 13,73	PS PD PM
Kraft-Ausdauersport (n = 27)	47,41	124,26 76,85 97,24	14,19 9,42 9,18	PS PD PM
Ausdauersport (n = 17)	43,53	120,29 76,76 95,48	8,19 7,28 5,56	PS PD PM
=====				
Insgesamt (n = 113)	51,81	127,92 76,11 98,93	14,36 10,06 9,40	PS PD PM
<u>Normwerte:</u>		100 bis 130		PS
	30 bis 50	60 bis 90		PD
		100		PM

Tabelle 10

Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen (s) des peripheren Gesamtwiderstandes (W) des arteriellen Systems bei den verschiedenen Sportgruppen in Ruhe.

Gruppe	$\bar{x}$	s	Meßgröße
Kurzstrecke ($n = 7$)	951,48	374,89	W (dyn·sec/cm ⁵)
Technische Disziplinen ($n = 13$)	1329,00	310,52	"
Ausdauer-Kraftsport ($n = 17$)	1331,58	602,53	"
Mannschaftssport ($n = 19$)	1350,71	364,60	"
Kraft-Ausdauersport ($n = 27$)	1651,35	547,43	"
Schwimmen ($n = 8$)	1695,43	752,17	"
Mittelstrecke ($n = 5$)	1789,87	570,97	"
Ausdauersport ($n = 17$)	2043,08	571,97	"
=====	=====	=====	=====
Insgesamt ($n = 113$)	1540,43	582,92	W
<u>Normwert:</u>	700 bis 1400		W

Tabelle 11

Mittelwerte ($\bar{x}$) der Pulswellengeschwindigkeit (c) mit Standardabweichungen (s) bei den verschiedenen untersuchten Sportgruppen unter Ruhebedingungen.

Gruppe	$\bar{x}$	s	Meßgröße
Techn. Disziplinen (n = 13)	4,84	0,74	c (m/sec)
Kraft-Ausdauersport (n = 27)	5,23	0,52	"
Kurzstrecke (n = 7)	5,27	0,29	"
Ausdauer-Kraftsport (n = 17)	5,32	0,51	"
Schwimmen (n = 8)	5,33	0,36	"
Mannschaftssport (n = 19)	5,69	0,58	"
Ausdauersport (n = 17)	5,79	0,77	"
Mittelstrecke (n = 5)	6,05	1,08	"
=====			
Insgesamt (n = 113)	5,41	0,67	c
<u>Normwert:</u>	4 bis 6		c

Tabelle 12

Einfluß verschiedener Sportarten und ihres Trainings
auf die Vergrößerung des Herzvolumens der untersuchten
Sportler.

Starke Herzvergrößerung:

Langstreckenlauf
Radrennfahren
Rudern
Schwimmen

Mäßige bis starke Herzvergrößerung:

Mittelstreckenlauf
Boxen
Fußball
Handball
Moderner Fünfkampf

Geringe bis mäßige Herzvergrößerung:

Kurzstreckenlauf
Ringen
Judo-Kampf
Stabhochsprung

Keine bis geringe Herzvergrößerung:

Turnen
Fechten
Schießsport

Tabelle 13

Übersicht über den Einfluß der Sport- und Trainingsart auf die Veränderung der Herzgröße anhand der absoluten Herzvolumina bei den verschiedenen Leistungsgruppen, aufgegliedert nach den einzelnen Sportarten.

Gruppe	Sportart	n	absol. Herzvolumen (cm ³)
Ausdauersport:	Marathonlauf	12	1 022,3
		5	1 006
	10 000 m-Lauf	4	1 006
	3000/ 5000 m-Lauf	3	1 089
Mittelstrecke:		2	1 108,5
	400 m-Lauf	1	1 104
	Moderner Fünfkampf	1	1 113
Kurzstrecke:		5	906,6
	100 m-Lauf	4	883
	Stabhochsprung	1	1 003
Ausdauer-Kraftsport:		10	1 272,2
	Radrennfahren	2	1 201
	Rudern	8	1 290
Kraft-Ausdauersport:		18	974,8
	Boxen - Leichtgewicht	7	796
	Boxen - Mittelgewicht	4	1 090
	Boxen - Schwergewicht	5	1 394
	Judo-Kampf	1	946
	Ringern	1	739
Schwimmen:		5	1 231,6
	100/200 m-Schwimmen	3	1 190
	400 m-Schwimmen	2	1 294
Mannschaftssport:		12	922
	Fußball	10	952
	Handball	1	956
	Hockey	1	734
Techn. Sportarten:		11	849
	Turnen	6	774
	KK - Schießen	2	949
	Fechten	3	893

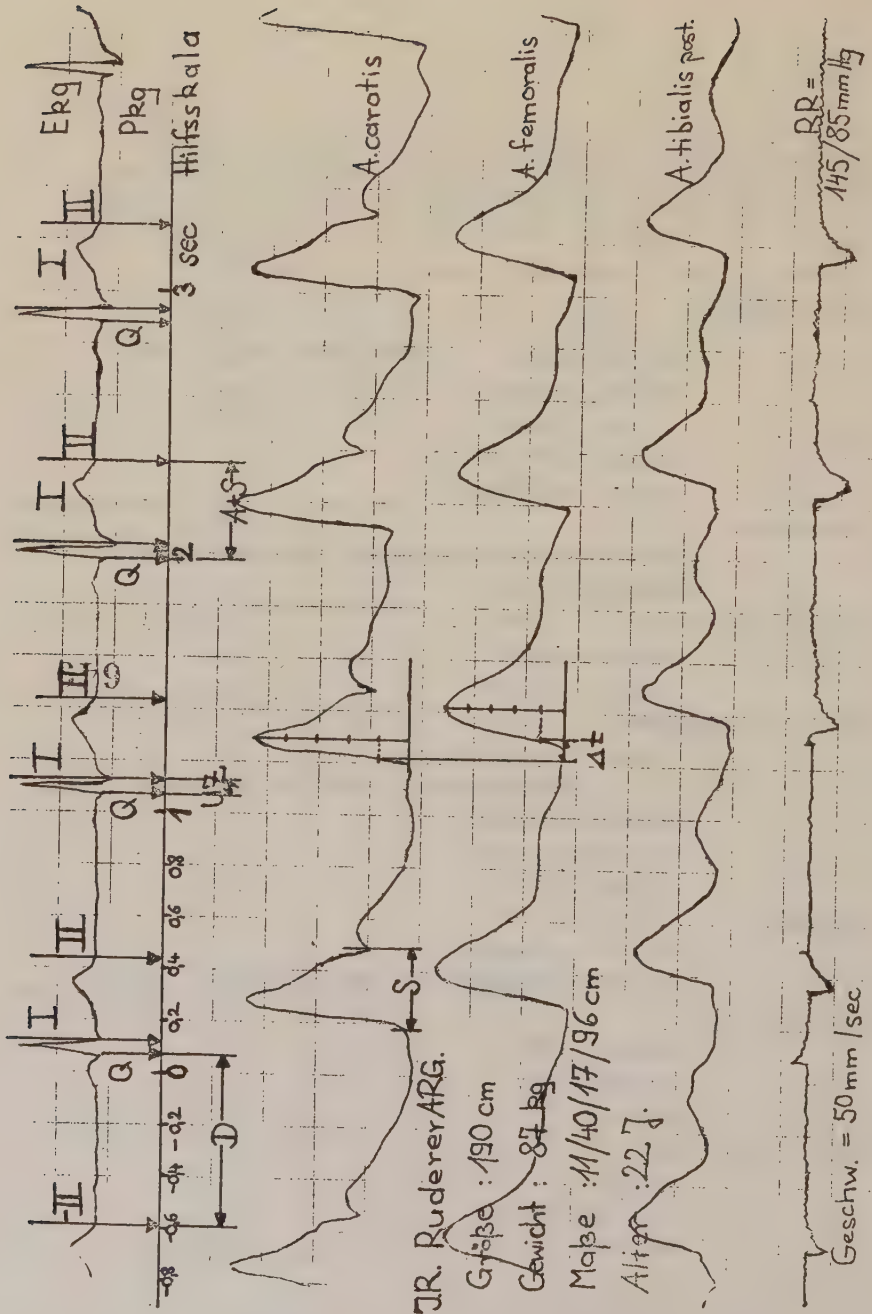


Abbildung 1 (Legende siehe Seite 89)

Legende zu Abbildung 1

Abb. 1 zeigt die zur Bestimmung der zeitlichen Herzdynamik notwendige Kombination synchron geschriebener Kurven und verdeutlicht beispielhaft die für die Auswertung primärer Herz- und Kreislaufgrößen erforderlichen Meßpunkte.

Im 1. Kanal des Mehrfachschreibers ist das E K G registriert, im 2. Kanal das P h o n o k a r d i a g r a m m. Unter diese beiden Kurven wurde eine zur Ausmessung notwendige H i l f s - s k a l a gelegt. Auf diese werden die Q-Zacken (Q), der 1. Herzton (I), der 2. Herzton (II), sowie der 2. Herzton der jeweils vorausgehenden Herzaktion (- II) projiziert. Aus dem Abstand der verschiedenen Projektionspunkte lassen sich dann die D i a s t o l e n d a u e r (D), die U m - f o r m u n g s z e i t (UZ) und die G e s a m t s y s t o - l e (A+S) genau ausmessen.

Im 3. Kanal wird das Carotis- S p y g m o g r a m m registriert, aus dem sich die A u s t r e i b u n g s z e i t (S) ermitteln läßt.

Im 4. Kanal ist die Druckpulskurve der Arteria femoralis graphisch aufgezeichnet. Aus der Laufzeitverspätung der Femoralis gegenüber der Carotispulskurve läßt sich graphisch die P u l s w e l l e n z e i t (dt) ablesen.

Im 5. Kanal ist das Sphygmogramm der Arteria tibialis posterior registriert.

Im 6. Kanal schließlich ist der R u h e b l u t d r u c k (RR) graphisch dargestellt.

Außerdem werden auf jedem Kurvenstreifen der Name, die Sportart, die Nationalität und andere persönliche Daten (Größe, Gewicht, Alter) vermerkt.

Janeben müssen auch noch die Geschwindigkeit des Papiervorschubes, sowie die einzelnen Streckenabschnitte zwischen den verschiedenen Pulsabnahmestellen (Pulsweg) zur Berechnung der Pulswellengeschwindigkeit festgehalten werden.

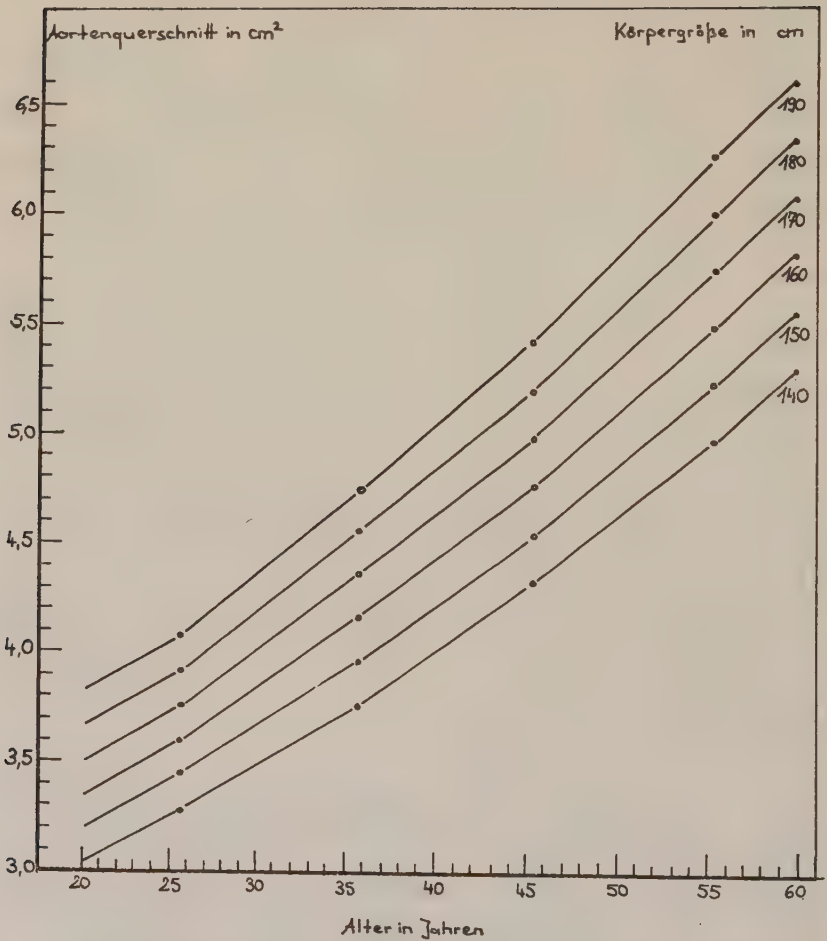


Abbildung 2

Diagramm zur Bestimmung des Aortenquerschnitts bei Männern in Abhängigkeit vom Lebensalter (Abszisse) und der Körpergröße nach den von FRUCHT (39) modifizierten Angaben SUTER's (129).

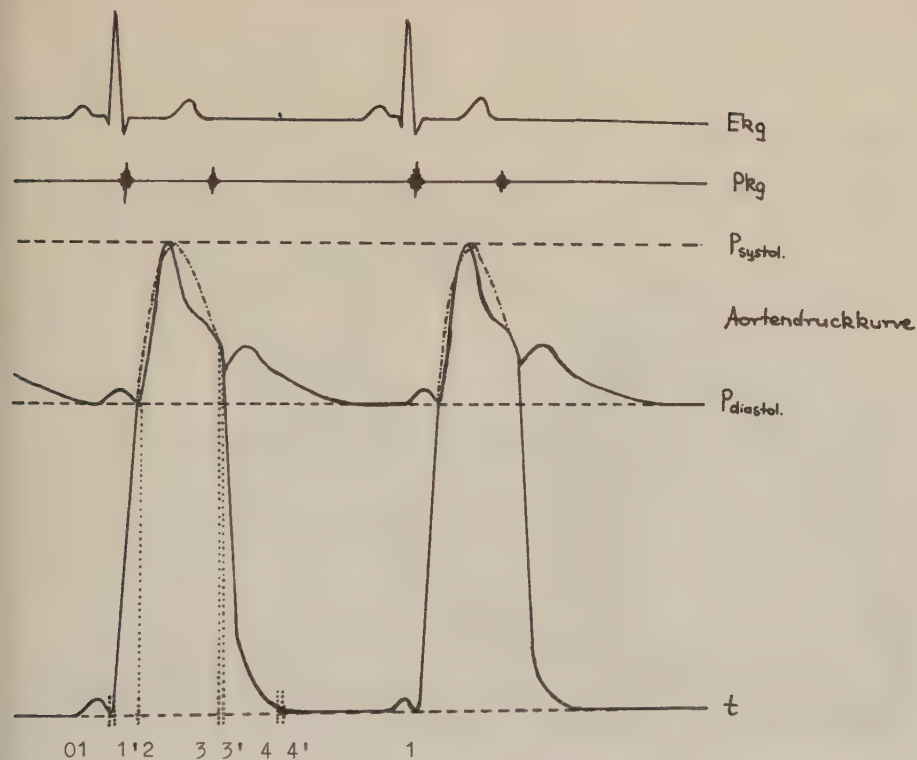


Abbildung 3

Schematische Darstellung der zeitlichen Beziehung der bei der Sphygmographie synchron ermittelten Kurven von EKG, Phonokardiogramm (PKG) und Aortendruckkurve zwischen systolischem ($P_{syst.}$) und diastolischem Blutdruck ($P_{diastol.}$) im Vergleich zum Druckverlauf im Herzen (unterste Kurve) während zweier Herzkontraktionen.

0	Vorhofkontraktion		
1	Kammersystolenbeginn	1 bis 3	Systole
1'	Segelklappenschluß	1' bis 2	Anspannungszeit
2	Taschenklappenöffnung	2 bis 3	Austreibungszeit
3	Systolenende	3 bis 4	Erschlaffungszeit, Diastole
3'	Taschenklappenschluß (Inzisur)		
4	Ventrikeldruckabfall auf 0		
4'	Segelklappenöffnung	4' bis 1	Füllungszeit

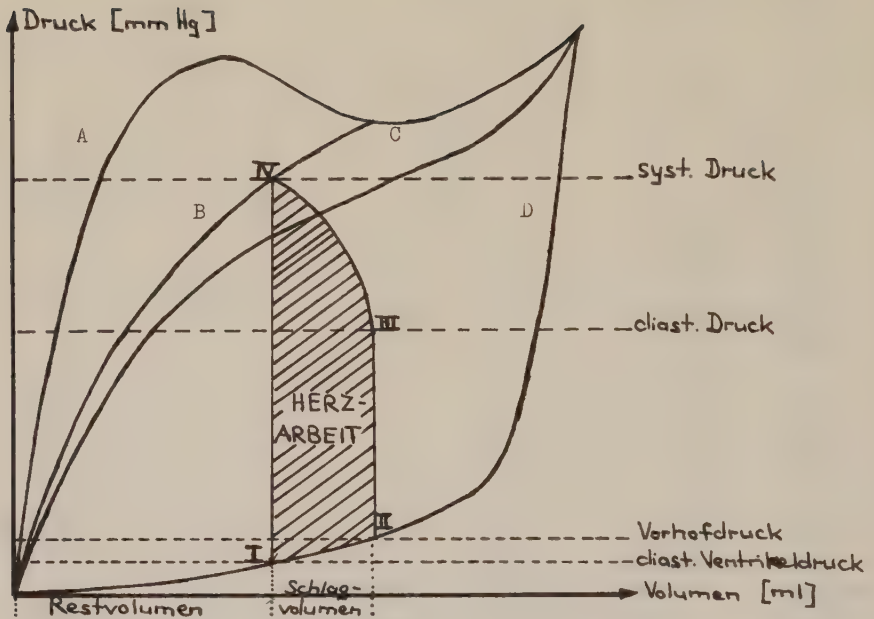


Abbildung 4

Schematische Darstellung der vom Herzen während einer Kontraktion geleisteten Herzarbeit (Schraffierte Fläche) im Druck- Volumen - Diagramm im Zusammenhang mit den FRANK - STRAUB - STARLING'schen Gleichgewichtskurven:

- A = Kurve der isovolumetrischen Druckmaxima
- B = Unterstützungszuckungskurve
- C = Kurve der isotonischen Volumenminima
- D = Ruhedehnungskurve

- I bis II : Füllungszeit
- II bis III : Anspannungszeit (isometrisch)
- III bis IV : Austreibungszeit (auxoton)
- IV bis I : Erschlaffungszeit



Technische Disziplinen 849
(n = 11)

Kurzstrecke
(n = 5) 906,6

Mannschaftssport 922
(n = 12)

Kraft- Ausdauersport 974,8
(n = 18)

Ausdauersport 1 022,3
(n = 12)

Mittelstrecke 1 108,5
(n = 2)

Schwimmen 1 231,6
(n = 5)

Ausdauer-Kraftsport 1 272,2
(n = 10)

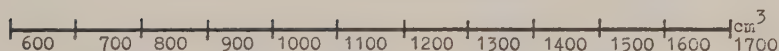


Abbildung 5

Darstellung der absoluten Herzvolumina, ihrer Schwankungsbreite und der Mittelwerte bei den verschiedenen untersuchten Sportgruppen.

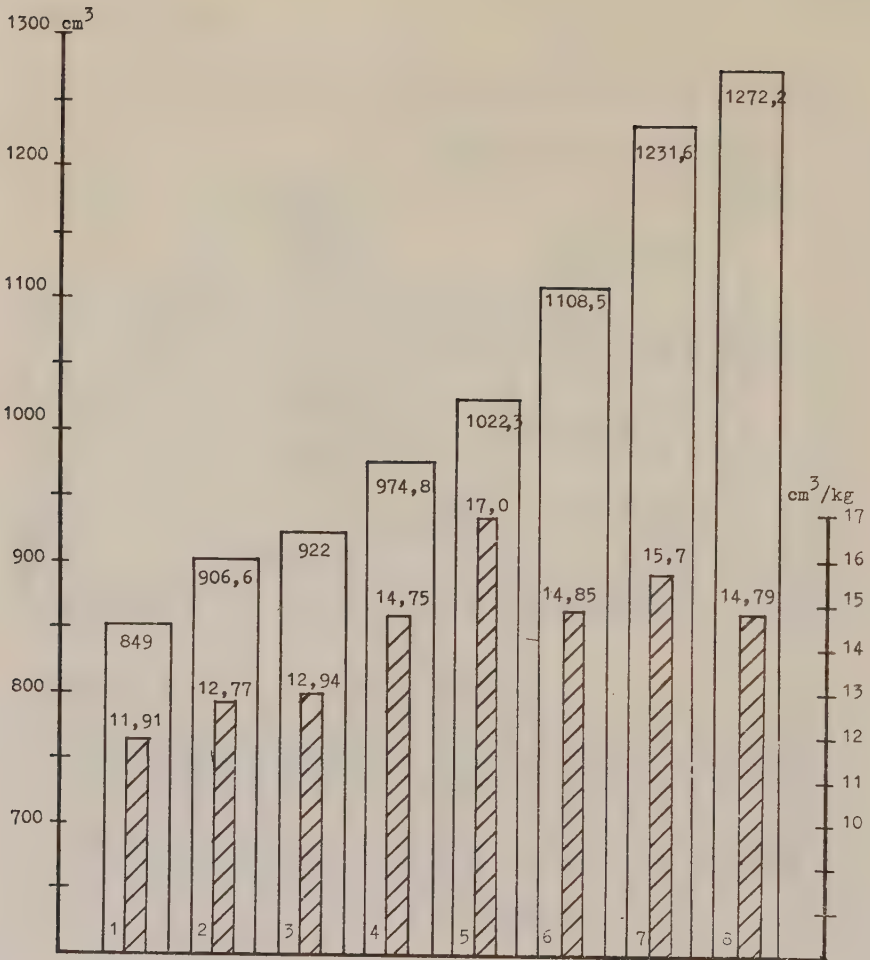


Abbildung 6

Darstellung der mittleren absoluten und (schraffiert) relativen Herzvolumina der verschiedenen Sportgruppen, geordnet nach der Größe der absoluten Herzvolumina.

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1 = Techn. Disziplinen | 5 = Ausdauersport |
| 2 = Kurzstrecke | 6 = Mittelstrecke |
| 3 = Mannschaftssport | 7 = Schwimmen |
| 4 = Kraft-Ausdauersport | 8 = Ausdauer-Kraftsport |

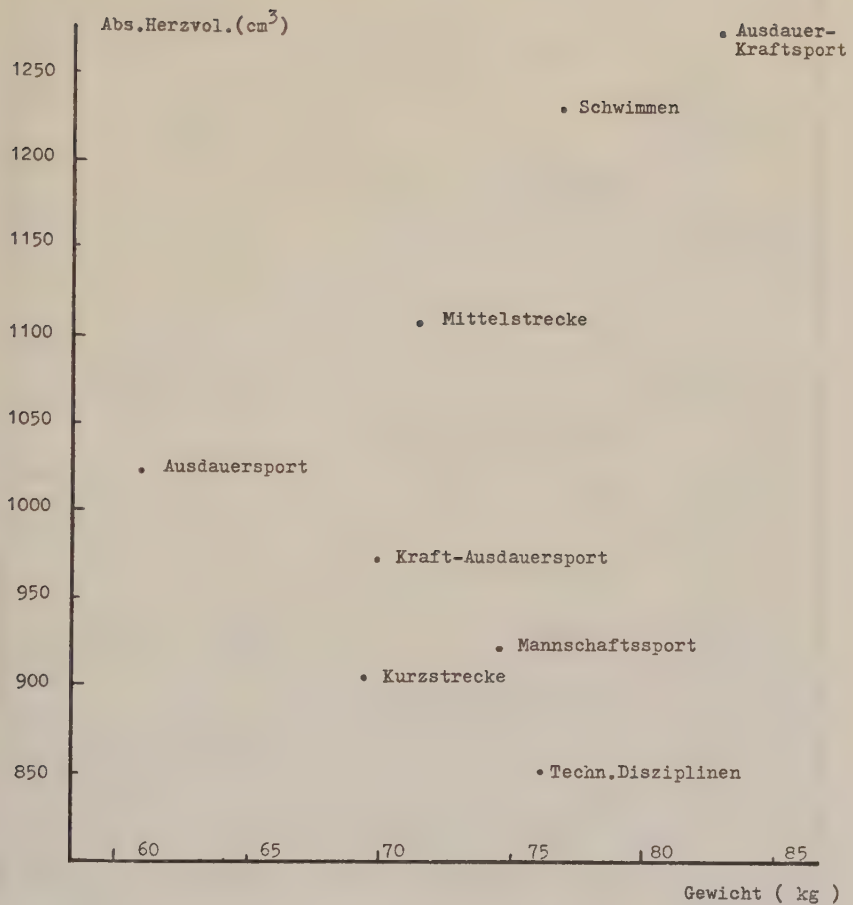


Abbildung 7

Darstellung der Beziehung zwischen dem absoluten Herzvolumen (Ordinate) und dem Körpergewicht (Abszisse) für die einzelnen untersuchten Sportgruppen.

Absol. Herzvolumen (cm^3)

Herzfrequenz (min^{-1})

849	Technische Disziplinen	61,07
906,6	Kurzstrecke	63,48
922	Mannschaftssport	57,22
974,8	Kraft- Ausdauersport	56,56
1 022,3	Ausdauersport	49,50
1 108,5	Mittelstrecke	59,14
1 231,6	Schwimmen	59,85
1 272,2	Ausdauer- Kraftsport	59,32

Abbildung 8

Gegenüberstellung der absoluten Herzvolumina und der Ruheherzfrequenzen mit ihren Mittelwerten bei den verschiedenen Sportgruppen, geordnet nach der Größe des absoluten Herzvolumens.

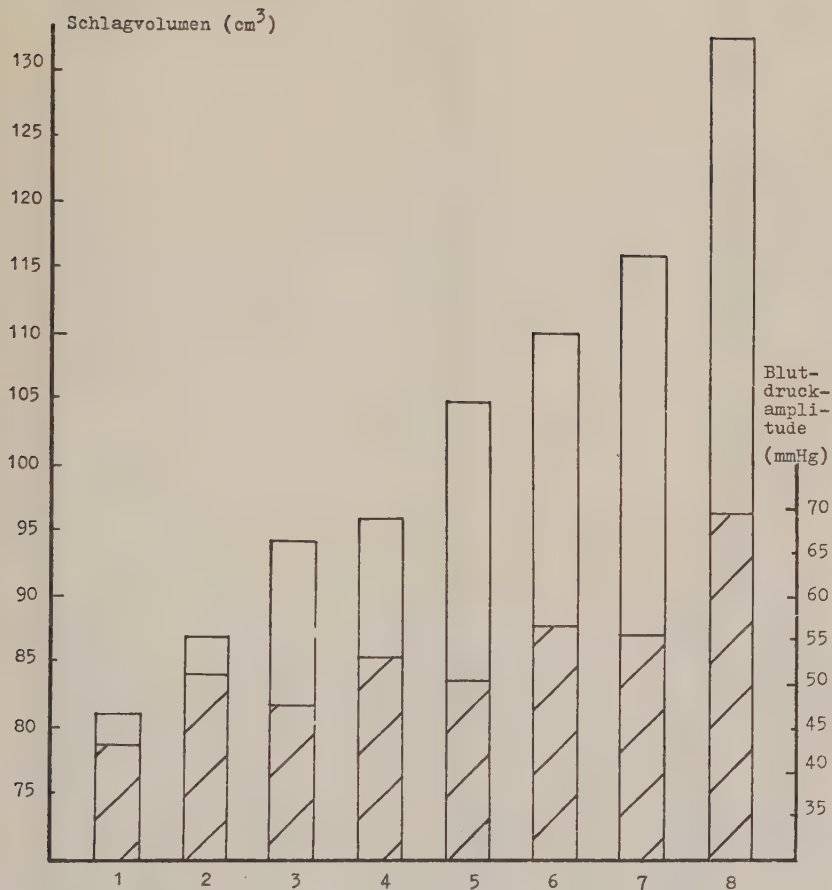


Abbildung 9

Darstellung der mittleren Blutdruckamplitudenwerte (schraffiert) und ihrer Beziehung zu den mittleren Ruheschlagvolumina bei den verschiedenen Sportgruppen, geordnet nach der Höhe des Schlagvolumens:

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1 = Ausdauersport | 5 = Techn. Disziplinen |
| 2 = Mittelstrecke | 6 = Mannschaftssport |
| 3 = Kraft-Ausdauersport | 7 = Ausdauer-Kraftsport |
| 4 = Schwimmen | 8 = Kurzstrecke |

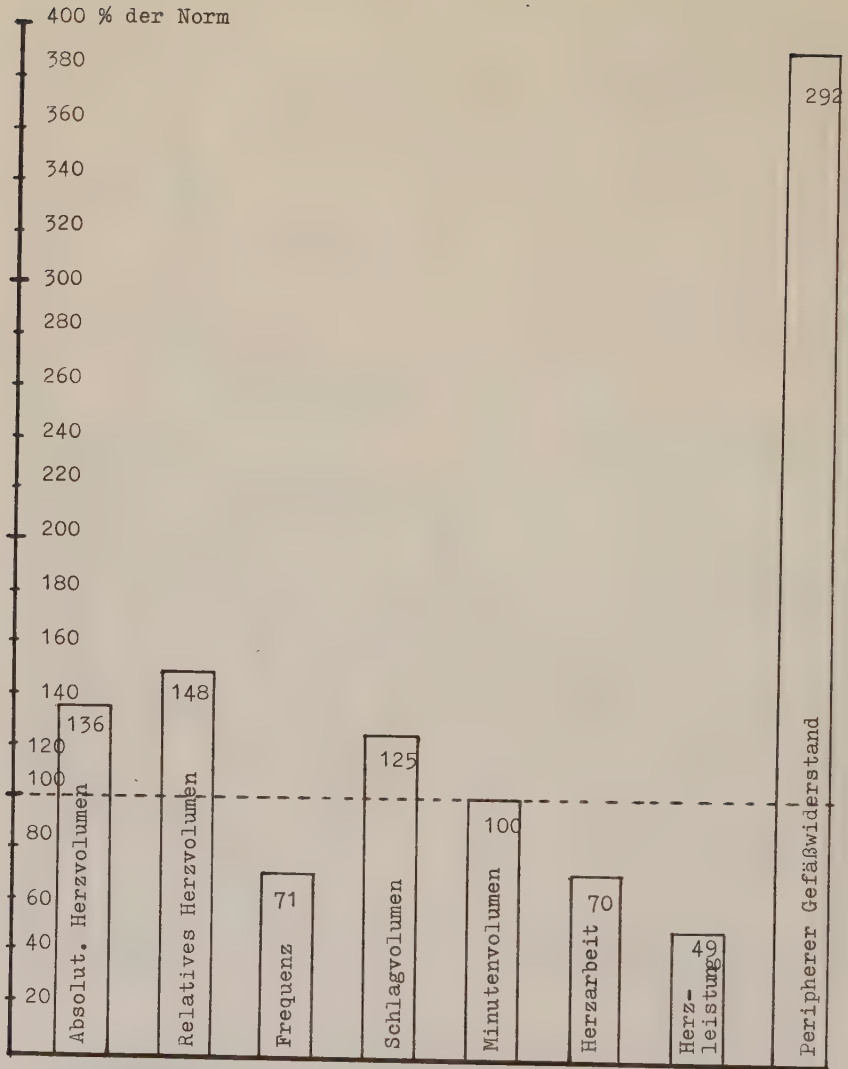


Abbildung 10

Darstellung einzelner Herz- und Kreislaufgrößen bei der Gruppe der Ausdauertrainierten, angegeben als Prozentzahlen, wobei die entsprechenden Normwerte der einzelnen Größen 100 % entsprechen.

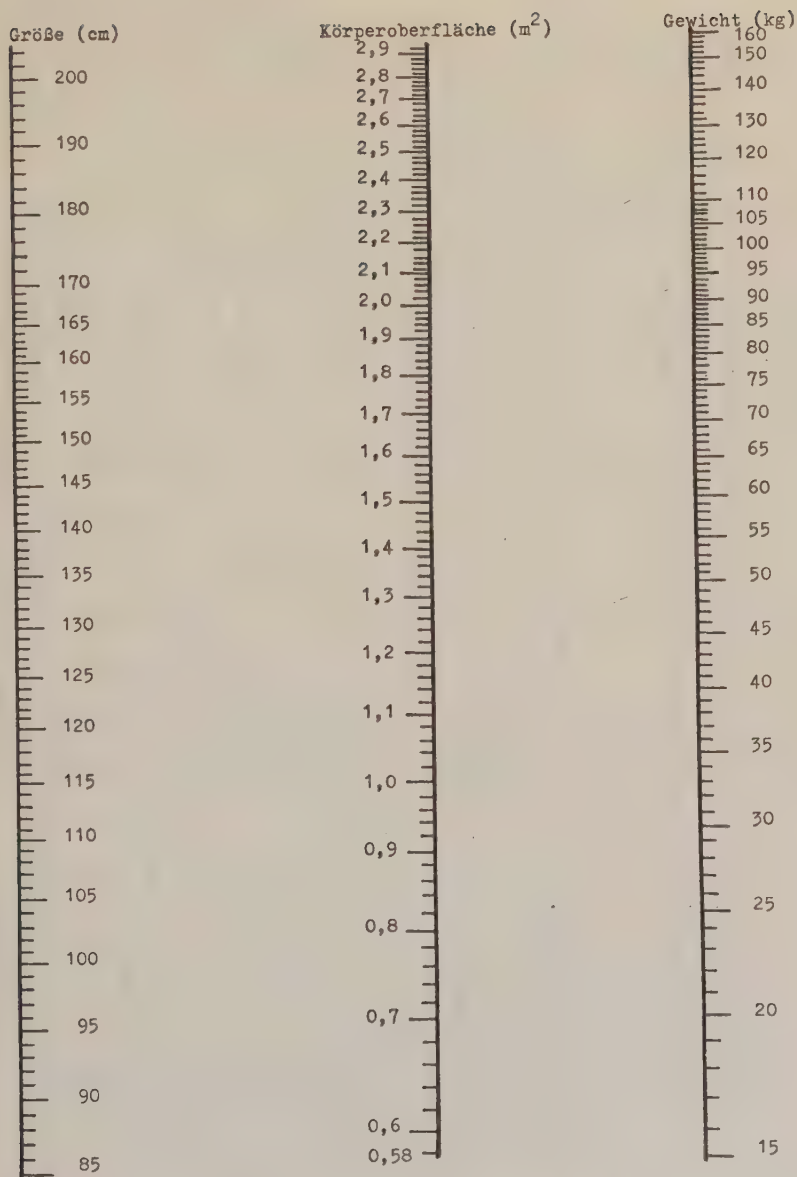


Abbildung 11

Diagramm zur Bestimmung der Körperoberfläche aus der Körpergröße und dem Körpergewicht nach DUBOIS (34).

HERZ - KREISLAUF - DYNAMIK

Name : M. Alter (J) : 38 Aortenquerschnitt (cm^2) : 4,20
 Vorname : T. Größe (cm) : 175 Blutdruck (mmHg) : 115 / 70
 Geburtsdatum : 19. 02. 34 Gewicht (kg) : 56 Pulsweg car. / fem. (cm) : 48

Herzaktion	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Summe Mittelwert
1	I	140	1964	3787	5611	7434	9258	11084	12908	14731	
2	II	528	2351	4175	5998	7822	9648	11472	13296	15120	16488
3	Q	72	1895	3719	5543	7367	9191	11015	12840	14664	16488
4	-II	-1296	528	2351	4175	5998	7822	9648	11472	13296	15120
5) 3-4	D	1368	1367	1368	1368	1369	1369	1367	1368	1368	1368
6) 2-3	A+S	456	456	456	455	455	457	457	456	456	456
7) 1-3	UZ	68	69	68	68	67	67	69	68	67	68
8	S	360	358	361	360	359	362	360	360	359	360
9	DT centr.	74	75	75	76	76	75	74	75	76	75

Legende zu Beiblatt 1

Beiblatt 1 zeigt ein Meßprotokoll, das als Hilfsmittel zur Auswertung der physikalischen Herz- und Kreislaufanalyse und zur einfachen Berechnung einiger Herz- und Kreislaufgrößen angefertigt wurde.

Im Kopf des, als Beispiel angeführten, Protokolls werden neben den persönlichen Daten des einzelnen Sportlers vor allem Alter, Größe und Gewicht (zur indirekten Aortenquerschnittsbestimmung) notiert, außerdem der Ruheblutdruck und der Pulsweg zwischen dem Carotis- und Femoralispulsabnehmer.

In Spalte 1 wird der Zahlenwert für den Abstand zwischen dem Null-Punkt und der Projektionsstelle des 1. Herztones (I) auf die Hilfsskala (siehe Abb. 1), der für 10 Herzaktionen fortlaufend ausgemessen wurde, eingetragen.

In Spalte 2 erscheinen die Werte für den 2. Herzton (II), die nach demselben Verfahren wie in Spalte 1 bestimmt werden, in Spalte 3 diejenigen für die Q-Zacke des EKG (Q) und in Spalte 4 wiederum die für den 2. Herzton (- II), jedoch der jeweils vorausgehenden Herzaktion.

In der 5. Spalte läßt sich dann aus der Differenz der Werte in Spalte 3 und 4 die Diastolendauer (D) für die einzelnen Herzaktionen errechnen.

In Spalte 6 ergibt sich aus der Differenz der Werte von Spalte 2 und 3 die Gesamtsystolendauer (A+S), und in Spalte 7 schließlich lassen sich aus der Differenz der Werte in Spalte 1 und 3 die Umformungszeiten (UZ) für jede der 10 Herzaktionen ermitteln.

In Spalte 8 erscheinen die aus der Carotis-Pulskurve ausgemessenen Einzelwerte für die Austreibungszeit (S) und in Spalte 9 die Einzelwerte für die aus der Carotis- und Femoralispulskurve ausgemessene Pulswellenverspätung (DT). Für sämtliche unter Spalte 5 bis 9 aufgeführten Herz- Kreislaufgrößen wurde abschließend die Summe und dann der Mittelwert aus 10 Herzaktionen gebildet. Diese Mittelwerte wurden bei den weiteren Berechnungen berücksichtigt.

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT

MÜNCHEN 1972

Untersuchungsgruppe 4

SPHYGMOGRAPHIE

Name: _____

Vorname: _____

I-Nummer:

1	N	VN	Tag	Mon.	Jahr	Nation	11
---	---	----	-----	------	------	--------	----

 KN: 6,0,
12

Diastolendauer	D	14		(ms)
Gesamtsystole	A+S	18		"
Austreibungszeit	S	22		"
Umformungszeit	UZ	25		"
Pulslaufzeit (car-fem)	DT _r	27		"
Blutdruck	P _s /P _d	29		32 (mmHg)
Aortenquerschnitt	Q	35		(cm ²)
Pulsweg (Rumpf)	DS _r	38		(cm)
Pulslaufzeit (fem-Fuß)	DT _b	40		(ms)
Pulsweg (Bein)	DS _b	42		(cm)
T fem		44		(ms)
T Fuß		47		"

Beiblatt 2

Beispiel für ein Datenblatt, in das die aus den Kurven ermittelten und mit Hilfe des Meßprotokolls errechneten Primärwerte eingetragen werden, um weitere Herz- und Kreislaufgrößen mittels einer Rechenanlage bestimmen zu können.

G. L I T E R A T U R - V E R Z E I C H N I S

1. ANDERSEN, K.L.:
Der Ruheblutdruck bei Athleten.
Acta Med. Scand. 153, 367 (1956).
2. ASTRAND, P.O.:
Sport, Alter, Geschlecht.
Sportmed.Schriftenreihe, Heft 5, Bern 1958.
3. ASTRAND, P.O.:
Physical performance as a function of age.
J.Amer.Med.Ass. 205, 729 (1968).
4. BAUEREISEN, E.:
Die Herzgröße als Bestimmungsvariable der
physiologischen Leistung.
5. Freiburger Symposium, Berlin-Göttingen-
Heidelberg 1958.
5. BECKER, R.:
Die Beziehungen zwischen Größe und Leistungs-
fähigkeit des Sportherzens.
Theor. Prax. Körperkult. 8, 165 (1959).
6. BEVEGARD, S., A. HOLMGREN, B. JONSON:
Kreislaufuntersuchungen an gut trainierten
Sportlern unter besonderer Berücksichtigung
des Einflusses der Körperhaltung und des
Schlagvolumens.
Acta physiol. scand. 57, 26 (1963).
7. BEVEGARD, S., A. HOLMGREN, B. JONSON:
The Effect of Body Position on the Circula-
tion at Rest and During Exercise, with Spe-
cial Reference to the Influence on the
Stroke Volume.
Acta physiol. scand. 49, 279 (1960).

8. BLASIUS, W., G. BACH, M.K. SCHAFE:
Der Herzminutenvolumen-Quotient nach dosierter Arbeit und in der Erholungsphase bei Trainierten und Untrainierten.
Arch.Kreislaufforschg. 36, 58 (1961).
9. BLOHMKE, M. O. STELZER, H. STUMPF:
Die Wirkung der "aktiven Übungsbehandlung" auf die Herz- und Kreislaufregulation gesunder Männer in Ruhe und während Belastung.
Z. Kreislaufforschg. 55, 329 (1966).
10. BLÜMCHEN, G., F. GRIMM, L. SAMEK, H. ROSKAMM, W. GEBHARDT:
Über das Verhalten des Schlagvolumens (Farbstoffverdünnungsmethode) bei Normalpersonen im Liegen, in Ruhe, während submaximaler und maximaler Belastung.
Sportarzt u. Sportmedizin 19, 89 (1968).
11. BLUMBERGER, K.J.:
Funktionsprüfung des Herzens. Kurze Übersicht über die geeigneten Untersuchungsmethoden.
Med.Welt 12, 379 (1951).
12. BLUMBERGER, K.J.:
Die Wirkungen des peripherischen Kreislaufs auf die zeitliche Dynamik des Herzens bei Menschen.
Verh.Dsch.Ges. Kreislaufforschg. 22, 79 (1956).
13. BLUMBERGER, K.J., H. LINKE:
Herz- und Kreislaufregulationsstörungen.
In: Innere Medizin in Praxis und Klinik.
Medica Verlag Stuttgart 1957, S. 440.
14. BOCK, A.V.:
The Circulation of a Marathoner.
J. Sports Med. 4, 80 (1963).
15. BORMANN, B., S. ISRAEL:
Die Besonderheiten des Femoralisphygmogramms bei Sportlern.
Med. Sport 11, 143 (1971).

16. BOROS von, B.:
Die Belastung von Herz und Kreislauf im Sport.
Med.Klin. 40, 23 (1956).
17. BRENKE, H., S. ISRAEL:
Die Beziehungen zwischen Körpergewicht und absoluter sowie relativer (körpergewichtsbezogener) Leistung auf den Fahrradergometer.
Med. Sport 6, 190 (1966).
18. BROEMSER, Ph., O.F. RANKE:
Über die Messung des Schlagvolumens des Herzens auf unblutigem Weg.
Z. Biol. 90, 460 (1930).
19. BRECHT, K., H. BOUCKE:
Neues elektrostatisches Tieftonmikrophon und seine Anwendung in der Sphygmographie.
Pflügers Arch. 43, 256 (1953).
20. BUCHBERGER, J.:
Einfluß verschiedener Trainingsarten auf die Kreislaufregulation bei Jugendlichen.
Wien.med.Wschr. 121, 938 (1971).
21. BUCHBERGER, J.:
Der Einfluß verschiedener Trainingsarten auf die Arbeitskapazität von Jugendlichen.
Schweiz.Z.Sportmed. 19, 3 (1971).
22. BÜCHNER, H., M. GRIESE:
Röntgenologische Herzvolumenbestimmung und Herzmodellierung.
Arch. Kreislaufforsch. 32, 292 (1960).
23. BUHLMANN, A., P. LICHTLEN:
Herz und Kreislauf.
Bühlmann, A., E. Froesch, Pathophysiologie, S. 26, Berlin-Heidelberg-New York 1972.
24. BUHLMANN, A., H. GATTIKER:
Herzzeitvolumen, Schlagvolumen und physische Arbeitskapazität.
Schweiz. med. Wschr. 94, 443 (1964).

25. COSTILL, D.L.:
The relationship between selected physiological variables and distance running performance.
J. Sports Med. 7, 61 (1967).
26. DELIUS, L., H. REINDELL:
Neuere klinische Untersuchungsergebnisse über die Physiologie und Pathologie der Regulation des Kreislaufs und der Herzdynamik.
Klin. Wschr. 27, 1 (1949).
27. DELIUS, L.:
Neurovegetative Regulation und sportliche Leistung.
Dtsch. Sportärztekongreß Hamburg 1959.
28. DEMBO, A.G.:
Über Blutdruckmessungen bei Sportlern.
Cardiologica 5, 19 (1965).
29. DEUTSCH, F., E. KAUF:
Herz und Sport.
Wien - Bern 1924.
30. DIETLEN, H.:
Über das Sportherz.
Münch.med.Wschr. 43, 2137 (1951).
31. DÖRING, H.:
Die Blutdruckwerte, abhängig vom Beruf.
Lebensvers. Med. 15, 50 (1963).
32. DONATH, R., S. ISRAEL:
Über Beziehungen zwischen der Herzgröße und einigen herz- kreislaufdynamischen Meßgrößen bei einer steady- state- Belastung.
Wiss.Z.Dtsch.Hochsch. Körperkult. 8, 119 (1966).
33. DREWS, A.:
Vergleichende Untersuchung über den Arbeits-
blutdruck von Trainierten verschiedener
Sportdisziplinen.
Sportarzt 16, 119 (1965).

34. DUBOIS, A.B.:
Zit. nach J.R. GEIGY, Wissenschaftl. Tabellen,
Basel 1955.
Arch. Int. Med. 15, 868 (1915).
35. DUESBERG, R., W. SCHROEDER:
Pathophysiologie und Klinik der Kollapszustände.
Leipzig 1944.
36. ECHTE, W.:
Die Beurteilung der Herzdynamik bei Hochleistungssportlern mittels Arterien- und Venenpuls.
Dtsch. Ges. Wesen 18, 1401 (1963).
37. EKELUND, L.G., A. HOLMGREN:
Central Haemodynamics During Exercise.
Supp. I Circulation Res. 20, 21 (1967).
38. FRANK, O.:
Grundform des arteriellen Pulses.
Z.Biol. 37, 483 (1899) und 46, 441 (1905).
39. FRUCHT, A.H.:
Aortenquerschnitt in Abhängigkeit von Alter,
Geschlecht, Körpergröße, mittlerem Blutdruck.
Z. Kreislaufforschg. 42, 401 (1953).
40. GADERMANN, E., H. JUNGSMANN:
Klinische Arterienpulsschreibung.
München 1964.
41. GATTIKER, H.:
Das Verhalten des Herzschlagvolumens in Ruhe
und während körperlicher Belastung beim
Menschen.
Cardiologia 46, 348 (1965).
42. GEBHARDT, W.:
Eine neue Methode der röntgenologischen Herz-
volumenbestimmung mit Hilfe des simultanen
Schichtverfahrens im Vergleich mit den bisher
üblichen Methoden.
Klin. Wschr. 35, 1119 (1957).

43. GEBHARDT, W.:
Die Druck- Volumenbeziehung des Warmblüter-
Herzens.
Arch. Kreislaufforschg. 34, 201 (1961).
44. GEBHARDT, W.:
Tonus und Kontraktilität des menschlichen
Herzens als entscheidende Parameter seiner
Dynamik.
Habilit.Schrift, Freiburg i. Br. 1964.
45. GEBHARDT, W., H. REINDELL, K. KÖNIG:
Zur röntgenologischen Herzvolumenbestimmung.
Arch. Kreislaufforschg. 33, 382 (1960).
46. GEORGESCU, M., V. DOBRESCAUN-ENESCU, V. FOTESCU,
D. JONESCH:
Hämodynamische Aspekte bei aktiven Fußball-
spielern.
Sociedad Medicina del Deports XIV congreso
International de Medicina del Deporte.
Santiago de Chile 1962, Zit. nach ISRAEL, S.(57).
47. GESELEVICH, V.A.:
Haemodynamic peculiarities in wrestlers ob-
served during a long-term training.
In: Weltkongreß für Sportmed., Hannover 1966.
48. GUERRA, F.:
Röntgenergebnisse der Herzgröße von Marathon-
läufern und Gehern anlässlich der Olympischen
Spiele in Rom.
Med. Sport 6, 15 (1966).
49. HAUSGEN, A., G. NEUMANN, S. ISRAEL:
Das Herzschlagvolumen bei jugendlichen Sport-
lern- bestimmt nach den Methoden nach WEZLER-
BÖGER und BROEMSER-RANKE.
Med.Sport 11, 207 (1971).
50. HEINECKER, F., K.E. ZIPF, H.W. LÖSCH:
Über den Einfluß körperlichen Trainings auf
Kreislauf und Atmung.
Z. Kreislaufforschg. 49, 913 (1960).

51. HENSCHEN, S.E.:
Skilauf und Skidwettlauf.
Eine medizinische Sportstudie.
Mitteilg. Med. Klinik Upsala 2, 1 (1899).
52. HOFF, F., H. LOSSE:
Sympathikotonie und Parasympathikotonie.
Dtsch. Med. Wschr. 80, 529 (1955).
53. HOLLDACK, K., D. WOLF:
Atlas und kurzgefaßtes Lehrbuch der Phono-
kardiographie und verwandter Untersuchungs-
methoden.
Stuttgart 1966.
54. HOLLMANN, W.:
Körperliches Training als Prävention von
Herz-Kreislaufkrankheiten.
Stuttgart 1965.
55. HOLLMANN, W.:
Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreis-
lauf und Atmung.
Darmstadt 1959.
56. HOLLMANN, W., H. VENRATH, C. BOCHARD:
Die Wirkung eines Intervalltrainings auf
Herz, Kreislauf und Stoffwechsel bei Kunst-
turnern.
Med. Welt 41, 2156 (1964).
57. ISRAEL, S.:
Sport, Herzgröße und Herz-Kreislaufdynamik.
Sportmed.Schriftenreihe Heft 3, Leipzig 1968.
58. ISRAEL, S., H. BRENKE:
Die Beziehung zwischen Körpergewicht und
absolutem sowie relativem Herzvolumen.
Med.Sport 7, 145 (1967).
59. ISRAEL, S., S. CHRUSTSCHOW:
Untersuchungsergebnisse der direkten Ballisto-
kardiographie bei Sportlern.
Med. Sport 11, 4 und 46 (1971).

60. ISRAEL, S., E. KÜHLER, G. ISRAEL:
Das Ausmaß organischer und funktioneller Anpassungserscheinungen bei Hochleistungs-sportlerinnen verschiedener Sportarten.
Theor.u. Prax. Körperkult. 16, 163 (1971).
61. JUNGMANN, H.:
Über den Einfluß von Tageszeit, Nahrungs-aufnahme und Nüchternheit auf den Kreislauf.
Z. Kreislaufforschg. 43, 120 (1954).
62. JUNGMANN, H.:
Kritisches zur Pulskurvenregistrierung und ihrer Auswertung.
Z. Exper. Med. 122, 60 (1953).
63. KASCHANI - ZADEH, D.:
Der Einfluß von Alter und Geschlecht auf die zeitliche Herzdynamik und die Blutdruckhöhe bei Herzgesunden und Hypertonikern.
Ärztl.Forschg. 19, 586 (1965).
64. KEUL, J., H. REINDELL, H. ROSKAMM:
Trainingsauswirkungen beim Jugendlichen.
Der Sportarzt 12, 254 (1961).
65. KEUL, J., H. ROSKAMM:
Mittel- und Langstreckentraining Jugendlicher.
Lehre der Leichtathletik 14, 15 (1960).
66. KIRCH, E.:
Anatomische Grundlagen des Sportherzens.
Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med. 47, 73 (1935).
67. KJELLBERG, S.R.:
Roentgenologic determination of the cardiac volume and some of its sources of error.
Cardiologia 14, 374. (1949).
68. KJELLBERG, S.R., U. RUHDE, T. SJÖSTRAND:
The relation of the cardiac volume to the weight and surface area of the body, the blood volume and the physical capacity of work.
Acta radiol. 31, 113 (1949).

69. KLAUS, E.J.:

Untersuchungen zur Tagesrhythmik von
Blutdruck und Pulswellengeschwindigkeit
beim Sportler.

Sportärztl. Prax. 2, 57 (1961).

70. KLENSCH, H.:

Schlag- und Minutenvolumen des Herzens bei
schwerer körperlicher Arbeit beim Trainier-
ten und Untrainierten.

Dtsch. Sportärztekongreß Hamburg 1959.

71. KNIPPING, H.W., H. VALENTIN:

Das Herz des Schwerarbeiters und des Hoch-
leistungssportlers.

Münch.Med.Wschr. 113, 11 und 94 (1961).

72. KOPF, A.:

Herz- Kreislaufreaktionen auf belastende
Übungen bei Trainierten und Normalpersonen.

Res.Quart. 34, 41 (1963).

73. KOPP, H.:

Ein Beitrag zur Erklärung der nach RIVA-
ROCCI indirekt gemessenen Blutdruckwerte
bei gesunden Sportlern.

Sportarzt 15, 205 (1964).

74. LACHMANN, H., D. DÖRING:

Über die Ablesegenauigkeit der Meßwerte
bei der indirekten Blutdruckmessung nach
RIVA-ROCCI-KOROTKOFF.

Dtsch. Ges. Wesen 18, 1545 (1963).

75. LAMMERANT, J.:

Le Volume Sanguin des Poumons chez l'Homme.
Aescia- Bruxelles 1957.

76. LANG, E.:

Meßverfahren zur Bestimmung der zeitlichen
Herzdynamik.

Herz-Kreislauf 2, 80 (1970).

77. LANG, E.:

Die Bedeutung indirekter sphygmographischer Untersuchungsmethoden.

5. Freiburger Kolloquium für Kreislaufmessungen, München-Gräfelfing 1966.

78. LARSSON, H., S.R. KJELLBERG:

Roentgenological heart volume determination with special regard to pulse rate and the position of the body.

Acta radiol. 29, 159 (1948).

79. LINZBACH, A.J.:

Mikrometrische und histologische Analyse hypertropher menschlicher Herzen.

Virchows Arch. 314, 534 (1947).

80. MEINERS, S.:

Meßmethoden zur Herz- Kreislaufanalyse.

1. Freiburger Kolloquium für Kreislaufmessung, München-Gräfelfing 1958.

81. MELLER, W., H. MELLEROWICZ:

Vergleichende Untersuchungen über Dauertraining mit verschiedener Häufigkeit, aber gleicher Arbeit und Leistung an eineiigen Zwillingen.

Sportarzt u. Sportmedizin 12, 520 (1968).

82. MELLER, W., H. MELLEROWICZ:

Vergleichende Untersuchungen über Dauertraining mit gleicher Arbeit, aber unterschiedlicher Leistung an eineiigen Zwillingen.

Sportarzt u. Sportmedizin 12, 215 (1968).

83. MELLEROWICZ, H.:

Über Trainingswirkungen auf Herz und Kreislauf und ihre Bedeutung für die präventive Kardiologie.

In: Präventive Kardiologie, Berlin 1961.

84. MELLEROWICZ, H.:

Über das Leistungsherz.

Fortschr. Med. 15, 387 (1958).

85. MELLEROWICZ, H.:
Herz und Blutkreislauf beim Sport.
In: A. ARNOLD Lehrbuch der Sportmedizin,
S. 148. Leipzig 1960.
86. MELLEROWICZ, H.:
Vergleichende Untersuchungen über das
Ökonomieprinzip in Arbeit und Leistung des
trainierten Kreislaufs und seiner Bedeutung
für die präventive und rehabilitative Medizin.
Arch. Kreislaufforschg. 24, 70 (1956).
87. MELLEROWICZ, I.:
Der Kreislauf des Jugendlichen bei Arbeit
und Sport.
Basel - Freiburg - New York 1965.
88. MELLEROWICZ, H., W. MELLER:
Training.
Berlin - Heidelberg - New York 1972.
89. MELLEROWICZ, H., A. PETERMANN:
Zur Leistungsdiagnostik des Kreislaufs.
Grundlagen und einfache praktische Methodik
zur Messung und Beurteilung der körperlichen
Leistung und der Leistungsbreite des Kreislaufs.
Dtsch. Med. Wschr. 81, 669 (1956).
90. MICHEL, D.:
Zur praktischen Bedeutung der dynamischen
Herzzeitwerte.
Ärztl. Forschg. 19, 65 (1965).
91. MILLAHN, H.P.:
Vegetativ-nervöse und hormonal-humorale Be-
einflussung der Elastizität des arteriellen
Windkessels.
Wiss.Z. Univ. Rostock 11, 133 (1962).
92. MORITZ, F.:
Größe und Form des Herzens bei Meistern im
Sport.
Dtsch. Arch. klin. Med. 176, 455 (1934).

93. MUSSHOF, K.:
Die Methoden der röntgenologischen Herz-
volumenbestimmung und ihre Fehlerbreite.
Fortschr. Röntgenstr. 100, 165 (1964).
94. MUSSHOF, K.:
Die Ergebnisse der röntgenologischen Volu-
menbestimmung über die normale Herzgröße.
Fortschr. Röntgenstr. 102, 3 und 237 (1965).
95. MUSSHOF, K., H. REINDELL, H. KLEPZIG, H. KIRCHHOFF:
Herzvolumen, Schlagvolumen und körperliche
Leistungsfähigkeit.
Cardiologia 31, 359 (1957).
96. NEUMANN, H., H. BURG:
Lungen- und Herzkreislauffunktion.
Berlin - New York 1971.
97. NEUMANN, H., K.J. BOEDER:
Funktionsprüfungen in der Herz- Kreislauf-
diagnostik.
Berlin 1963.
98. NÜCKER, J.:
Leistungsfähigkeit und Lebensalter.
Z. Altersforsch. 14, 189 (1960).
99. NORDER, W.:
Das Normalverhalten der Funktionsgrößen des
Kreislaufs unter körperlicher Belastung.
Arch. Kreislaufforsch. 47, 61 (1965).
100. NOVACKI, P., E. SCHMID:
Über die sympathiko-adrenale Reaktion im
Training und Wettkampf bei verschiedenen
Sportarten.
Med. Welt 21, 1682 (1970).
101. PAERISCH, M.:
Regelungsaspekt bei Trainingsveränderungen
des Kreislaufs.
Med. Sport 12, 202 (1972).

102. PERE, S.:
Über die Wirkung des Sporttrainings auf
Kreislauforgane.
Medizinische 31/32, 1006 (1952).
103. PROKOP, L.:
über Trainingsveränderungen am Kreislauf.
Leibesüb. Leibeserz. 2, 7 (1948).
104. PRKOP, L., L. SLAPAK:
Sport und Kreislauf.
Wien 1958.
105. RANKE, O.F.:
Die Theorie der physikalischen Schlagvolu-
menbestimmung.
Verh. Dtsch.Ges. Kreislaufforsch. 15, 1 (1949).
106. REINDELL, H., R. WEYLAND, H. KLEPZIG, E. SCHILDGE,
K. MUSSHOFF:
Das Sporthertz.
Erg. Inn. Med. 5, 306 (1954).
107. REINDELL, H., H. KLEPZIG, H. STEIM, K. MUSSHOFF,
H. ROSKAMM, E. SCHILDGE:
Herz, Kreislaufkrankheiten und Sport.
München 1960.
108. REINDELL, H., W. GEBHARDT, H. STEIM:
Ein Beitrag der Klinik zur Dynamik des ge-
sunden und kranken Herzens.
Arch. Kreislaufforsch. 34, 145 (1961).
109. REINDELL, H., E. SCHILDGE, H. KLEPZIG, W. KIRCHHOFF:
Kreislaufregulation.
Stuttgart 1955.
110. REINDELL, H., H. ROSKAMM, H. STEIM:
Herz und Kreislauf bei Trainierten.
Med. Welt 31, 1557 (1960).

111. REINHOLD, D.:
Regulationsmechanismen an Herz und Kreislauf
auf ein spezielles Ausdauertraining.
Med. Sport 5, 27 (1965).
112. ROCKSTROH, K., S. ISRAEL:
Die Besonderheiten des Karotissphygmogramms
bei Sportlern.
Med.Sport 11, 138 (1971).
113. ROSKAMM, H.:
Funktionsprüfung von Herz und Kreislauf.
Kurzmonographien Sandoz, Bd. 2, Nürnberg 1971.
114. ROSKAMM, H., H. REINDELL, J. KEUL:
Über Veränderungen von Herzgröße und Leistungs-
fähigkeit bei unterschiedlicher Trainings-
belastung.
Sportarzt 12, 240 (1961).
115. ROSKAMM, H., H. REINDELL, K. MUSSHOF, K. KÖNIG:
Die Beziehungen zwischen Herzgröße und Lei-
stungsfähigkeit bei männlichen und weibli-
chen Sportlern und Vergleich zu männlichen
und weiblichen Normalpersonen.
Arch. Kreislaufforschg. 35, 67 (1961).
116. ROSKAMM, H., H. REINDELL, K. KÖNIG:
Körperliche Aktivität und Herz- Kreislauf-
erkrankungen.
München 1966.
117. ROSSIER, P., A. BÜHLMANN:
L' influence de l' effort et de l' entraine-
ment sur le système cardio-vasculaire normal
et pathologique.
Cor et vasa 7, 1 (1965).
118. ROST, R., K.W. SCHNEIDER, N. STEGMANN:
Vergleichende echokardiographische Untersu-
chungen am Herzen des Leistungssportlers
und des Nichttrainierten.
Med. Welt 33/34, 1088 (1972).

119. RUCKERT, K.H., R. JUCHEMS, S. KRÖCKEL:
Untersuchungen der Hämodynamik bei Sportlern.
Z-präklin. Geriatr. 6, 133 (1974).
120. SACHS, L.:
Statistische Auswertungsmethoden.
Berlin - Heidelberg - New York 1969.
121. SCHLEUSING, G.:
Trainingsanpassungserscheinungen von Herz
und Kreislauf bei Fußball- und Handball-
spielern im Vergleich zu anderen Sportarten.
Med. Sport 2, 101 (1965).
122. SCHLEUSING, G., J. HILLER, G. NEUMANN:
Trainingsanpassungserscheinungen von Herz
und Kreislauf.
Z. Altersforschg. 15, 111 (1961).
123. SCHLEUSING, G., H. PISSAREK:
Untersuchungen über das Verhalten des ar-
teriellen Blutdrucks in Abhängigkeit vom
Trainingszustand.
Med. Sport 2, 79 (1963).
124. SCHNEIDER, K.W., R. ROST, W. GATTENLÖHNER:
Kreislauffunktion beim Sportler.
Hämodynamische Untersuchungen mit der Indika-
torverdünnungsmethode.
Stuttgart - New York 1970.
125. SJÖSTRAND, T.:
Das Sportherz.
Dtsch. Med. Wschr. 80, 963 (1955).
126. SJÖSTRAND, T.:
Relationen zwischen Bau und Funktion des
Kreislaufsystems und ihre Veränderungen
unter pathologischen Bedingungen.
Forum cardiologicum 3, 9 (1961).

127. STEGEMANN, J.:
Herz und Kreislauf im Sport.
In: W. HOLLMANN, Zentrale Themen der Sport-
medizin, S. 42.
Berlin - Heidelberg - New York 1972.
128. STEGEMANN, J., Th. KENNER:
A theory on heart rate control by muscular
metabolic receptors.
Arch. Kreislaufforschg. 64, 185 (1971).
129. SUTER, T.:
Über das Verhalten des Aortenumfanges unter
physiologischen und pathologischen Bedingungen.
Naunyn-Schmiedebergs Arch. Exper.Pathol. 39, 289
(1897).
130. SZÖGY, A., G. CHEREBETIN:
Herzvolumentaspekte bei Hochleistungssportlern.
Sportarzt u. Sportmedizin 8, 170 (1972).
131. TREUMANN, F., W. SCHROEDER:
Trainingseinfluß auf Muskeldurchblutung und
Herzfrequenz.
Z. Kreislaufforschg. 11, 1024 (1968).
132. TROUT, K.W., C.A. BERTRAND, M.H. WILLIAMS:
Messurement of blood pressure in obese persons.
J. A.M.A. 162, 970 (1956).
133. WANG, J., R.J. MARSHALL, H. TAYLOR, J.D. SHEPHERD:
Cardiovascular response to exercise in the
dentary men and athletes.
Physiologist 3, 173 (1960).
134. WEIDEMANN, H., H. ROSKAMM, L. GAMMELIN:
Vergleichsuntersuchungen über die Leistungs-
breite des Herz- Kreislaufsystems bei Hoch-
leistungssportlerinnen, Sportstudentinnen
auf weiblichen Normalpersonen.
Sportarzt u. Sportmedizin 11, 425 (1969).

135. WETTERER, E., T. KENNER:
Grundlagen der Dynamik des Arterienpulses.
Berlin - Heidelberg - New York 1968.
136. WEZLER, K., A. BÖGER:
Die Dynamik des arteriellen Systems.
Der arterielle Blutdruck und seine Komponenten.
Erg. Physiol. 41, 292 (1939).
137. WEZLER, K.:
Die Bedeutung der sphygmographischen Methoden
für die Beurteilung von Herz und Kreislauf.
5. Freiburger Symposium für Kreislaufmessung
München - Gräfelfing 1958.
138. ZISSLER, J.:
Zur Anwendung des sphygmographischen Ver-
fahrens bei der klinischen Kreislaufunter-
suchung.
Arch. Kreislaufforsch. 19, 58 (1953).

An dieser Stelle möchte ich
Herrn Professor Dr. J. S c h m i d t in Münster
für die Stellung des Themas herzlich danken.

Er hat durch seine vielfältigen fachlichen Rat-
schläge die vorliegende Arbeit bei der Ausarbeitung
in Form und Inhalt wirkungsvoll unterstützt.

Ebenso gilt mein aufrichtiger Dank
Herrn Privatdozent Dr. E. L a n g , der so
freundlich war, das Referat zu übernehmen.
Mit verständnisvoller Unterstützung hat er die
Vollendung dieser Arbeit ermöglicht und gefördert.

Erlangen, im August 1975.

LEBENS LAUF

Als Sohn des Studiendirektors Edgar H u h n und seiner Ehefrau Maria H u h n , geb. Bühner, wurde ich, Wolfgang H u h n , am 12. November 1950 in Waldberg/Rhön geboren.

Von 1956 bis 1960 besuchte ich in Westheim/Augsburg die Volksschule, trat im September 1960 in das Peutingen-Gymnasium in Augsburg ein und legte dort im Juni 1969 die Reifeprüfung ab.

Mit dem Studium der Humanmedizin begann ich im Wintersemester 1969/70 an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen, an der ich im August 1970 die naturwissenschaftliche Vorprüfung, im März 1972 die ärztliche Vorprüfung und im Juli 1975 die ärztliche Prüfung ablegte.

Erlangen, im August 1975.

Copie - Center 2000
852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30